



Maria Rita Fryxell Serra

Licenciada em Engenharia Química e Bioquímica

Desempenho Energético: Monitorização dos Consumos de Utilidades Visando a Melhoria de Desempenho Energético e Ambiental

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Engenheira Ana Rita Almendra,
Chefe de Área de Produção,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal

Coorientador: Professor Mário Eusébio,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Professora Doutora Maria Madalena Dionísio Andrade,
Professora Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências
e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Engenheiro Ricardo Ferreira Mata Luís,
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal

Vogal: Engenheira Ana Rita Almendra,
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2017

Maria Rita Fryxell Serra

Licenciada em Engenharia Química e Bioquímica

DESEMPENHO ENERGÉTICO: MONITORIZAÇÃO DOS CONSUMOS DE UTILIDADES VISANDO A MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E AMBIENTAL

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Engenheira Ana Rita Almendra,
Chefe de Área de Produção,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal
Coorientador: Professor Mário Eusébio,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Professora Doutora Maria Madalena Dionísio Andrade,
Professora Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências
e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa
Arguente: Engenheiro Ricardo Ferreira Mata Luís,
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal
Vogal: Engenheira Ana Rita Almendra,
Chefe de Área de Produção, Departamento de Operações,
Fisipe - Fibras Sintéticas de Portugal

Novembro 2017

DESEMPENHO ENERGÉTICO: MONITORIZAÇÃO DOS CONSUMOS DE UTILIDADES VISANDO A
MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E AMBIENTAL

Copyright © Maria Rita Fryxell Serra e Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do curso desta dissertação, foram vários os elementos que contribuíram para que a realização desta fosse possível.

Enumerando,

Agradeço em primeiro lugar à FISIFE, pela oportunidade de realizar o estágio curricular que permitiu a realização da presente dissertação.

À Engenheira Ana Rita Almendra, pelo apoio prestado, pela orientação e ajuda sempre que me foi necessária.

A todos os elementos da equipa da FISIFE que de algum modo me ajudaram durante este processo, nomeadamente, ao Engenheiro Dinis Relvas, ao Mário Matos e em especial ao Engenheiro Frederico Martins, ao Engenheiro Fábio Batalha e ao Engenheiro João Maia pela disponibilidade e ajuda.

Gostaria também de agradecer à minha colega de estágio Catarina Carvalho pela ajuda e companhia.

Outro elemento bastante importante na realização desta dissertação e ao qual agradeço é o Professor Mário Eusébio, pelo tempo despendido, pela orientação e ajuda prestada ao longo de todo este percurso.

Não esquecendo a família e todo o seu apoio e confiança em mim depositada, também durante este processo e desde sempre, gostaria de agradecer especialmente à minha avó Zé, ao meu avô Fernando, à minha mãe, aos meus irmãos Jorge e Zé e ao meu pai.

Quero ainda agradecer às famílias Correia, Chambel e Galrito porque sem a sua ajuda não poderia ter concluído o curso.

Quero agradecer também a todos os meus amigos que me acompanharam em todo este percurso académico em especial, à Joana, à Filipa e ao Daniel.

Por fim, quero agradecer ao João pelo tempo, pela ajuda e pelo apoio também durante esta fase.

A todos eles um grande obrigado!

RESUMO

A crescente preocupação para com o consumo de energia relativamente aos efeitos ambientais por esta criados e o aumento da competitividade do mercado atual, têm vindo a pressionar as indústrias a reduzir os seus consumos energéticos. Por questões legais e/ou económicas, o setor industrial tem vindo a implementar diversas medidas de melhoria de desempenho energético de modo a reduzir assim o seu consumo. A Fisipe, sendo um consumidor intensivo de energia, com cerca de 40.000 tep/ano, procura também melhorar o seu desempenho energético. Assim, com este propósito, foram aqui delineadas e implementadas ações de melhoria focadas na monitorização dos consumos de utilidades.

Com o propósito de melhorar e alargar o conhecimento sobre a produção e distribuição de utilidades foram construídos diagramas de rede e P&IDs. Com a construção destes, a Fisipe passou a ter à sua disposição ferramentas que permitem ter uma visão clara sobre a atual rede de produção e distribuição das diversas utilidades, na medida que estes oferecem um conhecimento aprofundado sobre toda a instalação.

Por forma a melhorar a atual monitorização dos consumos de utilidades, foi proposto a implementação de novos pontos de medição de caudal, de modo a eliminar a contabilização de consumo de utilidades por estimativa. Após a primeira fase de implementação é previsto que o custo associado ao consumo sem medição seja reduzido em 76%. Assim, conhecendo os consumos reais e monitorizando-os em contínuo é possível uma abordagem mais exigente no sentido de maximizar a eficiência dos processos.

De modo a complementar a monitorização de consumos, foi elaborada uma folha de cálculo que estima o consumo de utilidades para diferentes cenários de produção. Esta ferramenta permitirá a identificação de problemas inerentes à fábrica e auxiliar no planeamento de produção.

Este trabalho deverá ser continuado pela Fisipe, na medida em que este é enquadrado num trabalho de melhoria contínua.

Palavras-chave: Desempenho energético; melhoria contínua; monitorização de consumos.

ABSTRACT

The increasing awareness towards the energy consumption, relatively to the environmental concerns and the soaring of market competitiveness, has been pressing the industries in order to reduce their energy consumption. Whether for legal and / or economic reasons, the industrial sector has been implementing several measures to improve their energy performance in order to reduce its consumption. Being an intensive energy consumer, consuming about 40.000 toe/year, Fisipe also seeks to improve its energetic performance. Thus, for this purpose, improvement actions focused on the monitoring of utilities consumption were outlined and implemented.

With the drive to improve and expand the knowledge surrounding the utilities factory, network and P&I diagrams were developed. Therefore, Fisipe now has an appliance which allows them to access profound knowledge about the utilities factory, giving them clear vision about the current utilities production and distribution network.

To improve the current monitoring of utilities consumption, the implementation of flowmeters, wherever consumption was not measured, was proposed to reduce its accounting by estimation. After the first implementation phase, the cost associated with consumption without measurement is expected to be reduced by 76%. Thus, with real consumptions being measured and monitored in real time it is possible to make a more demanding approach in an effort to maximize process efficiency.

To complement consumption monitoring, a spreadsheet which estimates utilities consumption for different production scenarios was created. This can serve as a tool to pinpoint problems concerning the industry plant and provide support to production planning and management.

This work should be continued by Fisipe since it is framed in a continuous improvement project.

Key-words: Energy performance; continuous improvement; consumption monitoring.

ÍNDICE

1	ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.1	A FISIFE	1
1.1.1	<i>Instalação fabril.....</i>	<i>2</i>
1.2	CONTRIBUTOS DO TRABALHO	3
1.3	ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	4
2	INTRODUÇÃO.....	5
2.1	ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	5
2.2	IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO E MONITORIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA.....	6
2.3	NORMA ISO 50001:2011	9
2.3.1	<i>A Fisipe e a implementação da ISO 50001.....</i>	<i>12</i>
3	CASO ESTUDO: DESCRIÇÃO PROCESSUAL	13
3.1.1	<i>Área CP.....</i>	<i>13</i>
3.1.2	<i>Área DP.....</i>	<i>14</i>
3.1.3	<i>Área SP.....</i>	<i>14</i>
3.1.4	<i>Área CB.....</i>	<i>16</i>
3.1.5	<i>Área SR.....</i>	<i>16</i>
3.1.6	<i>Área UT.....</i>	<i>17</i>
4	METODOLOGIA.....	21
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	29
5.1	ATUALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE NOVOS DIAGRAMAS DE REDE E P&IDs DAS UTILIDADES.....	29
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA CONTABILIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE UTILIDADES	29
5.2.1	<i>Água Industrial.....</i>	<i>30</i>
5.2.2	<i>Água de Refrigeração.....</i>	<i>31</i>
5.2.3	<i>Água Gelada.....</i>	<i>34</i>
5.2.4	<i>Água Desionizada.....</i>	<i>34</i>
5.2.5	<i>Vapor.....</i>	<i>38</i>
5.2.6	<i>Ar Comprimido.....</i>	<i>39</i>
5.2.7	<i>Azoto.....</i>	<i>44</i>
5.3	PROPOSTAS DE MELHORIA DA MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE CONSUMOS DE UTILIDADES.....	46
5.3.1	<i>Identificação dos pontos críticos com necessidade de medição de caudal</i>	<i>46</i>
5.3.2	<i>Outras Propostas.....</i>	<i>50</i>
5.4	ESTIMATIVA DOS CONSUMOS DE UTILIDADES	51
5.4.1	<i>Verificação do Balanço. Consumos teóricos vs. Consumos reais.</i>	<i>55</i>
6	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	69
6.1	CONCLUSÕES.....	69
6.2	PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

ANEXOS.....	73
ANEXO I. LEGENDA P&ID	73
ANEXO II. DIAGRAMAS DE REDE	74
ANEXO III. P&ID.....	85
ANEXO IV. LISTA DE PONTOS COM CARÊNCIA DE PONTOS DE MEDIÇÃO DE CAUDAL	87
ANEXO V. RELATÓRIO EMITIDO PELO BALANÇO TEÓRICO.	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema representativo do modelo do sistema de gestão de energia. Fonte: [15]	10
Figura 4.1 Representação gráfica da medição de caudal pelo caudalímetro ultrassônico portátil clamp-on FLUXUS F601 através da velocidade de transmissão de sinais ultrassônicos. A) Envio de sinal em cocorrente. B) Envio de sinal em contracorrente. Fonte: [22].	24
Figura 4.2 Representação gráfica do balanço energético a um equipamento.	26
Figura 4.3 Representação gráfica do balanço a um equipamento geral com utilidade.	27
Figura 4.4 Representação gráfica da laminagem e dessobreaquecimento do vapor.	28
Figura 5.1 Distribuição percentual do consumo de Água Industrial pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. *Consumo acumulado das áreas CP2, DP2 e SP2.	30
Figura 5.2 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Industrial pelas diferentes áreas consumidoras.	31
Figura 5.3 Distribuição percentual do consumo de Água de Refrigeração (TW) pelas diferentes áreas.	32
Figura 5.4 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração – TW pelas diferentes áreas consumidoras.	33
Figura 5.5 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração - TW-A.	33
Figura 5.6 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração - TW-B.	33
Figura 5.7 Distribuição percentual do consumo de Água Gelada pelas diferentes áreas.	34
Figura 5.8 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Gelada pelas diferentes áreas consumidoras.	35
Figura 5.9 Distribuição percentual do consumo de Água Desionizada - DIW1 pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.	35
Figura 5.10 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW1 pelas diferentes áreas consumidoras.	36
Figura 5.11 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW2 pelas diferentes áreas consumidoras.	37
Figura 5.12 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW3 pelas diferentes áreas consumidoras.	38
Figura 5.13 Distribuição percentual do consumo de Vapor 5S pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. *Soma dos consumos referentes ao Escritório Fabril, Laboratório, IP e Oficinas.	38
Figura 5.14 Esquema simplificado da rede de distribuição de Vapor 5S pelas diferentes áreas consumidoras.	39
Figura 5.15 Distribuição percentual do consumo de Vapor 20S pelas diferentes áreas.	40
Figura 5.16 Esquema simplificado da rede de distribuição de Vapor 20S pelas diferentes áreas consumidoras.	40
Figura 5.17 Distribuição percentual do consumo de Ar de Processo pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.	41
Figura 5.18 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar de Processo pelas diferentes áreas consumidoras.	41
Figura 5.19 Distribuição percentual do consumo de Ar de Instrumentos pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.	42
Figura 5.20 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar de Instrumentos pelas diferentes áreas consumidoras.	42

Figura 5.21 Distribuição percentual do consumo de Ar Geral pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.	43
Figura 5.22 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar Geral pelas diferentes áreas consumidoras.	44
Figura 5.23 Distribuição percentual do consumo de Azoto Industrial pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. * Consumo acumulado das áreas CP2 e DP2.	44
Figura 5.24 Esquema simplificado da rede de distribuição de Azoto Industrial pelas diferentes áreas consumidoras.....	45
Figura 5.25 Esquema simplificado da rede de distribuição de Azoto de Alta Pureza.	45
Figura 5.26 Previsão da evolução do consumo associado ao consumo de utilidade sem medição.	49
Figura 5.27 A) Produção horária média de polímero dos meses de janeiro a junho de 2017. B) Produção horária média de fibra dos meses de janeiro a junho de 2017.	55
Figura 5.28 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SR. D) Consumos da Área UT. E) Consumo total.....	57
Figura 5.29 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW-A relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área SP1. B) Consumos da Área SP2. C) Consumos da Área DP2. D) Consumo total.....	58
Figura 5.30 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW-B relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CB. B) Consumo total.	59
Figura 5.31 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Gelada CW relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área DP1. D) Consumos da Área DP2. E) Consumos da Área SP1. F) Consumos da Área SP2. G) Consumo total.....	60
Figura 5.32 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW1 relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SP1. D) Consumos da Área SP2. E) Consumos da Área CB. F) Consumos da Área SR. G) Consumo Total.	62
Figura 5.33 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW2 relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumo Total.	63
Figura 5.34 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW3 à CCB relativos aos meses de janeiro a junho de 2017.	63
Figura 5.35 Consumo real vs. Consumo teórico de Vapor 5S relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área DP1. D) Consumos da Área DP2. E) Consumos da Área SP1. F) Consumos da Área SP2. G) Consumos da Área CB. H) Consumo Total.	64
Figura 5.36 Consumo real vs. Consumo teórico de Vapor 20S relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área SP1. B) Consumos da Área SP2. C) Consumos da Área CB. D) Consumos da Área SR. E) Consumo Total.	66
Figura 5.37 Consumo real vs. Consumo teórico de Ar Comprimido relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SP1. D) Consumos da Área SP2. E) Consumos da Área DP1. F) Consumos da Área CB. G) Consumos da Área SR. H) Consumo Total.....	67
Figura 5.38 Diagrama causa-efeito para a diferença entre o consumo estimado pelo balanço e o consumo real de utilidade.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Comparação dos diferentes tipos de caudalímetros mais comuns. Grandezas medidas: Placa de Orifício, Tubo Venturi e Tubo Annubar (Pressão diferencial); Turbina (rotação); Ultrassónico (Velocidade); Eletromagnético (Tensão induzida); Rodas Ovais (Deslocamento Positivo); Vórtex (Frequência); Coríolis (Força de Coríolis). Fonte: [14]	8
Tabela 4.1 Dados necessários à construção dos P&ID.	22
Tabela 5.1 Diagramas das Utilidades. Evolução: março 2017 – setembro 2017.....	29
Tabela 5.2 Preços das Utilidades 2017	46
Tabela 5.3 Custo associado ao consumo de Utilidades.	46
Tabela 5.4 Locais propostos para uma 1ª fase de implementação.....	48
Tabela 5.5 Caudalímetros instalados na primeira fase de implementação.	49
Tabela 5.6 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área CP.	52
Tabela 5.7 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área DP.	52
Tabela 5.8 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área SP.	53
Tabela 5.9 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área CB.	54
Tabela 5.10 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área SR.	54
Tabela 5.11 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área UT.	54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

20S	Vapor a 20 bar
55CR	Solução rica em solvente
5S	Vapor a 7 bar
AN	Acrilonitrilo
AR	Ar Comprimido
AV	Acetato de Vinilo
CB	Corte e Embalagem
CCB	Central de Cogeração do Barreiro
CO₂	Dióxido de Carbono
CP	Polimerização Contínua
CR	Solvente dimetilcetinaida
CW	Água Gelada
DCS	Distributed Control System
DIW	Água Desionizada
DMA	Dimetilamina
DMAc	Dimetilcetinaida
DP	Preparação de Xarope
FIQ	Indicador e totalizador de caudal
GA	Ar Geral
GE	GE Power - Water & Process Technologies
IA	Ar de Instrumentos
IDE	Indicador de Desempenho Energético
IG	Gás Inerte - Azoto
ISO	International Organization for Standardization
ITA	Ácido Itacónico
KPI	Key Performance Indicator
L3	Processo de produção de fibra têxtil, fibras técnicas e alguns precursores
LW	Loop Water
OE	Open-End
P&ID	<i>Process and Instrumentation Diagram</i>
P2	Processo de produção de precursor de fibra de carbono
PA	Ar de Processo
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PREn	Planos de Racionalização do Consumo de Energia
PS	Parque de Silos
RW	Água recuperada
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

SGE	Sistema de Gestão de Energia
SM	Produção de Solvente
SP	<i>Spinning</i>
SPM	Máquina de <i>spinning</i>
SR	Recuperação de Solvente
TF	Parque de Tanques
TM	Cuba de lavagem
TMD	Cuba de <i>gel-dyeing</i>
TMF	Cuba de aplicação de acabamento
TT	Tow-to-Top
TW	Água de Refrigeração
UT	Utilidades
VEV	Variador Eletrónico de Velocidade
W	Água Industrial

1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A melhoria do desempenho energético tem vindo a tornar-se num assunto de interesse em qualquer indústria. Com cerca de 30% do consumo mundial de energia, a Indústria é um dos grandes consumidores da mesma nas suas diferentes fontes [1]. É sabido que o consumo de energia está relacionado com o agravamento do aquecimento global, na medida em que, nos processos de produção desta, são emitidas grandes quantidades de gases de efeito de estufa. A crescente preocupação para com o ambiente, bem como a volatilidade dos preços da energia, acompanhada com a competitividade do mercado, têm vindo a pressionar a indústria a tornar os seus processos energeticamente mais eficientes. Esta consciencialização sobre o uso inteligente de energia levou as empresas do setor a procurar uma redução do consumo de energia de modo a respeitar as obrigações legislativas ambientais relativas às emissões de gases de efeito estufa e reduzindo em simultâneo os custos associados ao seu consumo [2].

A FisiPE, sendo uma consumidora intensiva de energia, procura melhorar o seu desempenho energético em toda a extensão do seu processo. Tendo em vista o melhoramento deste, a FisiPE numa das suas ações de melhoria, procura reduzir o consumo de energia associado às utilidades pela redução de consumos das mesmas. Assim, com o intuito de identificar tais consumos, surgiu a oportunidade de realizar um estágio curricular na Área de Utilidades com o propósito de **melhorar a fiabilidade da monitorização do consumo de utilidades** de modo a aumentar o grau de confiança na sua gestão, legando assim as ferramentas necessárias à identificação de oportunidades de melhoria de desempenho energético e ambiental. O estágio teve a duração de 7 meses, com início em março de 2017, e teve como fim a realização da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química e Bioquímica para efeito de conclusão de curso.

Para a realização do presente trabalho foram delineados os seguintes objetivos:

- I. Atualizar e construir novos diagramas de rede e diagramas de processo e instrumentação (*Process and Instrumentation Diagram – P&ID*) das utilidades
- II. Elaboração de um plano a curto/médio prazo que vise aumentar o grau de certeza na contabilização do consumo de utilidades aumentando a percentagem de consumo a ser medido pelas diversas áreas consumidoras
- III. Construção de uma folha de balanço que preveja o consumo teórico de utilidades para diferentes cenários de produção

1.1 A FISIPE

A FISIPE - Fibras Sintéticas de Portugal, SA é uma empresa produtora de fibras acrílicas situada no Barreiro, Portugal. Esta é maioritariamente exportadora, onde cerca de 99% da sua produção é exportada. Aqui, a fibra é produzida pelo processo “wet spun” (via húmida) com tecnologia Monsanto [3].

A empresa foi fundada em 1973 resultado de um joint-venture entre o grupo Mitsubishi e a CUF, Companhia União Fabril. Esta associação pretendia unir a experiência industrial do fabrico têxtil dos portugueses e o conhecimento da tecnologia de produção de fibras sintéticas dos japoneses. Em 2012 a empresa foi adquirida pelo grupo alemão SGL, um dos principais produtores de fibra de carbono a nível mundial, fazendo com que a FisiPE deixasse de ser cotada na Bolsa de Valores de Lisboa [3].

1. Enquadramento e Motivação

A Fisipec inaugurou em 1976 a sua unidade fabril com uma capacidade de 12.500 ton/ano de produção dos tipos básicos de rama e cabo acrílico. Em 1980 a sua capacidade foi ampliada para 23.000 ton/ano com o início paralelo da produção de tipos especiais de fibra acrílica [3].

Ao longo dos anos a Fisipec tem vindo a ampliar a sua capacidade de produção, atingindo um máximo de 55.000 ton/ano [3]. A empresa que começou como produtora de fibras têxteis *standard* tem vindo gradualmente a tornar-se produtora de fibras acrílicas especiais, particularmente fibras pré-tintas, funcionais e para aplicações técnicas. Por último a Fisipec apostou na produção de precursor de fibra de carbono construindo uma nova fábrica de polimerização em paralelo e convertendo uma linha de produção de fibra têxtil. A inauguração foi a 15 de setembro de 2016. Com esta alteração na fábrica, a capacidade de produção de fibra decresceu ligeiramente, visto que uma das máquinas que produzia fibra têxtil foi alterada para produção de precursor de fibra de carbono e esta produz em menor quantidade que as restantes máquinas.

A Fisipec detém ainda duas instalações piloto. A primeira entrou em funcionamento de cruzeiro em 1999 onde foram desenvolvidas algumas fibras especiais e novas tecnologias como por exemplo o *gel dyeing*. A segunda é uma instalação piloto de produção de fibra de carbono onde se pode, por exemplo, testar o precursor de fibra de carbono em desenvolvimento na Fisipec. A sua instalação foi concluída em 2010 [3].

A empresa sempre se mostrou interessada na melhoria contínua do processo visando a qualidade do produto e o seu desempenho energético e ambiental. Esta obteve a sua primeira certificação ISO 9001 em 2003, tendo sido renovada até ao presente dia. A certificação de conformidade Oeko-Tex foi obtida pela primeira vez em 1995 tendo sido renovada anualmente. Por último a empresa obteve a certificação ISO 50001 no ano de 2016 [3].

Com a entrada da Fisipec no grupo SGL a empresa entrou também no programa *Six Sigma*. Programa este que tem como objetivo evitar a tomada de decisões sem bases fundamentadas com recurso a análise de dados, estatística e metodologias várias, de modo a apresentar resultados de sucesso ao longo de 10 anos de implementação [3].

À parte da produção de fibra acrílica, em 2009 foi construída a FISIGEN, a nova central de cogeração do Barreiro (CCB) que fornece o vapor necessário ao funcionamento da Fisipec. A FISIGEN é detida em 51% pela EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A. e em 49% pela Fisipec estando alojada dentro do seu perímetro fabril [3].

1.1.1 Instalação fabril

A Fisipec está dividida em diversas áreas fabris.

SERVIÇOS E UTILIDADES

- Área de Recuperação de Solvente (SR)
- Parque de Tanques (TF)
- Área de Utilidades (UT)

PRODUTOS INTERMÉDIOS

- Área de Polimerização Contínua (CP)
- Parque de Silos (PS)
- Área de Preparação de Xarope (DP)
- Área de Extrusão (SP)

1. Enquadramento e Motivação

PRODUTOS ACABADOS

- Área de Corte e Embalagem (CB)
- Área de Conversão de Cabo (TT)

Na **Área SR** são realizados dois processos distintos: o processo SR, onde ocorre uma separação de líquidos de modo a recuperar o solvente (DMAc) e o processo SM, onde se produz solvente a partir de dimetilamina (DMA) e ácido acético (AC).

Na **Área TF** são armazenadas as matérias-primas para a produção de polímero e para a produção de solvente.

A **Área UT** está responsável por produzir e fornecer todas as utilidades necessárias ao processo produtivo da instalação fabril. Estas são Água Industrial (W), Água de Refrigeração (TW), Água Gelada (CW), Água Desionizada (DIW), Vapor a 7bar (5S), Vapor a 20bar (20S), Ar Comprimido (AR) e azoto (IG).

Na **Área CP** é produzido polímero através da reação de polimerização do acrilonitrilo (AN) com o acetato de vinilo (AV), para a produção de fibra têxtil, ou com ácido itacónico (ITA), para a produção de precursor de fibra de carbono.

O polímero em pó produzido na Área CP é armazenado em silos na **Área PS**.

Na **Área DP** é formado o xarope que irá sofrer a extrusão na Área SP para a produção de fibra. Assim o xarope é formado misturando o polímero em pó proveniente do parque de silos, com o solvente proveniente da Área SR e armazenado no parque de tanques.

Na **Área SP** procede-se à extrusão da solução de polímero em solvente, fornecida pela Área DP, para a produção de fibra acrílica. No *Spinning* podem ser produzidos 3 tipos de fibra: fibra crua, pigmentada ou *gel-dyed* e precursores de fibra oxidada e fibra de carbono.

A **Área CB** trabalha a fibra fornecida pela Área SP efetuando diversas operações unitárias para a produção de cabo têxtil, rama, ramos técnicos e precursor de fibra oxidada.

A **Área TT** é alimentada com cabo proveniente da Área CB que é submetido a várias etapas, como, sucessivos estiramentos com vista ao seu rebentamento, de modo a obter o produto final. Dependendo das etapas efetuadas e às condições de operação a que o cabo foi submetido, este pode ser transformado em Top normal, Top alto volume ou Top 100% retrátil.

A Fisipe para além destas áreas fabris é ainda constituída por um laboratório em funcionamento contínuo, duas instalações piloto, uma para o desenvolvimento de novas técnicas de produção de fibra têxtil e técnica e outra direcionada para a produção de fibra de carbono. Existe ainda dentro do perímetro fabril a nova central de cogeração do Barreiro-FISIGEN, onde é produzido o vapor consumido pela Fisipe, e uma estação de fiação Open End (Área OE), onde é feita a fiação de fibra acrílica em rama produzida pela Fisipe ou em mistura com outras. O fio aqui produzido é destinado a tecelagens de malha ou tecido.

1.2 CONTRIBUTOS DO TRABALHO

Após a realização do presente trabalho é pretendido que sejam facultadas à Fisipe ferramentas como diagramas de rede, P&IDs e uma folha de cálculo que permita estimar o consumo de utilidades consoante os diferentes cenários de produção. Estas são necessárias para uma melhor compreensão e monitorização

1. Enquadramento e Motivação

dos consumos de utilidades. Com este trabalho é também pretendido melhorar a fiabilidade da monitorização do consumo de utilidades pela implementação de novos pontos de medição.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

1. Enquadramento e Motivação
2. Introdução
3. Caso Estudo: Descrição processual
4. Metodologia
5. Discussão dos Resultados Obtidos
6. Conclusões e Trabalho Futuro
7. Bibliografia

O capítulo 1 inclui o enquadramento, objetivos e a organização da tese.

No capítulo 2 são abordados os assuntos de energia e eficiência energética, a importância da medição e monitorização do consumo de energia, a norma ISO 50001:2011 e o enquadramento da Fisipe nos assuntos referidos.

O capítulo 3 inclui uma descrição processual detalhada da Fisipe.

No capítulo 4 está descrita a metodologia utilizada.

No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. O capítulo está dividido em quatro partes, sendo que a primeira (5.1) inclui a atualização e construção dos novos diagramas de rede e P&IDs, a segunda (5.2) inclui a caracterização da contabilização e distribuição dos consumos de utilidades, a terceira (5.3) inclui as propostas de melhoria da monitorização e controlo de consumos de utilidades e por fim, a quarta parte (5.4) inclui a estimativa dos consumos de utilidades.

No capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e propostas de trabalho futuro.

2 INTRODUÇÃO

2.1 ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em 2014, o consumo de energia a nível global no sector industrial foi de 2.751 Mtep¹, mais 104 Mtep que em 2004 [1]. O aumento do consumo de energia neste sector deve-se principalmente ao aumento significativo da produção de bens. Esta produção tenderá a aumentar principalmente nos países em desenvolvimento e, visto que estes representam cerca de 60% do consumo total de energia na indústria, o consumo de energia irá sofrer também um aumento significativo [4].

Com este aumento de consumo de energia segue também um aumento de emissão de gases de efeito estufa associados à produção da mesma, agravando assim o aquecimento global. Tal deve-se ao facto de grande parte da energia consumida ser gerada pela queima de combustíveis fósseis levando à libertação de grandes quantidades de gases de efeito de estufa, deteriorando assim a saúde do planeta [2].

Visto que, grande parte das fontes de energia provém de energias não renováveis, o custo desta tem vindo a aumentar juntamente com o aumento da procura e a crescente escassez de recursos disponíveis [5].

A volatilidade dos preços da energia e a crescente preocupação para com o ambiente têm sido os principais impulsionadores de medidas de redução de consumo de energia e, consequentemente, de redução de emissões de CO₂ equivalente [2].

Em suma, quer seja por fatores económicos ou ambientais, a eficiência energética tornou-se num ponto fulcral na gestão de toda a indústria a nível mundial.

A indústria química é considerada uma consumidora intensiva de energia, representando cerca de 16% do consumo do sector industrial global. Sendo que as principais fontes de energia em 2014 foram o Gás Natural e a Eletricidade, representando, respetivamente, 28% e 24% do consumo [1]. Por representar uma grande parte do consumo global do sector industrial, esta torna-se numa indústria de interesse para a implementação de medidas de melhoria da eficiência energética de modo a reduzir significativamente as emissões de CO₂ relativas ao consumo de energia [4].

A energia não pode ser medida diretamente, no entanto o seu consumo pode ser contabilizado através da medição do consumo de eletricidade, combustíveis, vapor, água quente, fluidos frios, ar comprimido, entre outros.

A eficiência energética é um conceito genérico que se baseia na ideia do uso mais eficiente da energia. Ou seja, consumir o mínimo de energia sem por em causa a qualidade de produção. Por ser um conceito tão abrangente não é possível medir diretamente a eficiência energética. No entanto, esta pode ser contabilizada por um conjunto de fatores. Os indicadores chave de desempenho ou KPIs (Key Performance Indicator) relativos à eficiência energética têm vindo a revelar a sua importância na medida em que permitem uma monitorização contínua da progressão da eficiência energética. Uma análise a estes indicadores possibilita a realização de estudos onde sejam identificadas oportunidades de melhoria auxiliando assim a tomada de decisões relativas à implementação de medidas de poupança de energia. A monitorização dos KPIs

¹ Tep = toneladas equivalentes de petróleo

2. Introdução

permite também a verificação da eficácia das medidas permitindo uma melhoria continua na eficiência energética da empresa [6].

A medição dos KPIs deve ser feita a vários níveis, isto é, a nível de equipamento, de processo e ao nível de fábrica. Os KPIs relativos à eficiência energética podem ser de vários tipos consoante o objetivo final. Os indicadores podem focar-se na medição do consumo ou custo de energia por uma quantidade específica, por exemplo, por tonelada de produto, ou podem também medir o consumo ou o custo de energia por um determinado intervalo de tempo. Este tipo de KPIs contabiliza, por exemplo, consumos, custos e emissões de CO₂ mensais, semestrais ou anuais. Os KPIs podem ainda focar-se na eficiência de equipamentos. Por exemplo, a eficiência das centrais de cogeração pode ser monitorizada contabilizando assim as perdas de energia no processo. Em suma, cabe a cada empresa optar pelos KPIs mais adequados aos seus objetivos relativos à eficiência energética [2,7].

Numa indústria tão versátil como a indústria química, é difícil apresentar medidas específicas de redução de consumo de energia eficazes em toda a extensão da indústria. No entanto, existem medidas que, de uma forma geral, poderão melhorar a eficiência energética de uma fábrica.

Tais medidas podem ser referentes a sistemas acionados por motores elétricos, como sistemas de bombagem, compressão, ventilação, entre outros, onde uma redução de consumo de eletricidade pode dar-se pela otimização dos motores existentes, pela substituição destes por outros mais eficientes ou pela implementação de variadores eletrónicos de velocidade (VEVs). A redução de consumo de energia pode também ser conseguida pela implementação de centrais de cogeração onde a produção de energia elétrica e energia térmica é feita em simultâneo reduzindo assim as perdas de energia quando comparadas com centrais termoelétricas convencionais [8].

A implementação de sistemas de controlo de processo pode também ajudar na redução do consumo de energia, estabilizando e otimizando as condições operatórias do processo. Outra medida que terá um impacto significativo será a integração energética do processo. Com a implementação desta, o consumo de utilidades irá reduzir e, consequentemente, o consumo de energia [8].

Em relação a medidas inerentes ao processo produtivo na indústria química temos, por exemplo, a implementação de novos catalisadores que tenham uma taxa de conversão superior. A otimização de operações de separação como colunas de destilação deve também ser estudada [8].

Contudo, é primeiramente necessário identificar as oportunidades de melhoria em relação à redução de consumo de energia. Isto é, identificar quais as áreas com consumo significativo de energia e identificar onde é que este consumo pode ser reduzido.

2.2 IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO E MONITORIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Numa fábrica, em média, cerca de 35% da energia que entra no processo produtivo é desperdiçada antes de chegar ao seu destino final. Aproveitar a totalidade deste desperdício será impossível, pois nenhum processo consegue ser 100% eficiente, no entanto, com as políticas adequadas, será possível reduzir este desperdício [9].

2. Introdução

As perdas de energia ocorrem ao longo de todo o processo, pelo que o grande problema que muitas das empresas enfrentam é a identificação do local onde ocorrem estas perdas e qual a sua relevância quantitativa [9].

Tal como dito anteriormente, o consumo de energia numa fábrica pode ser dado em parte pelo consumo das várias utilidades. Assim, o conhecimento da rede de utilidades é imperativo para que sejam identificados os pontos onde o seu consumo pode ser reduzido.

Porém, na Indústria Química é comum que a implementação de instrumentação ao longo da rede de utilidades seja negligenciada em prol da colocação de instrumentação na linha produtiva. Tal acontece porque, antes da recente sensibilização perante o consumo de energia, a indústria focava-se na eficiência do processo produtivo e na qualidade do produto final. O consumo de energia era negligenciado sendo que a única preocupação da gestão era a disponibilidade ou não de utilidade. Tal carência de pontos de medição de caudal ao longo da rede de utilidades torna assim impossível a deteção dos consumos desnecessários [10].

Posto isto, é perceptível que o primeiro passo a ser dado no sentido da melhoria da eficiência energética deverá ser a colocação de instrumentação necessária a abranger pelo menos as áreas com um consumo de energia mais significativo.

Com as medições resultantes será possível monitorizar o perfil de consumo em tempo real bem como construir um histórico de consumo de energia da fábrica. Será esta monitorização que poderá resultar na identificação de oportunidades de melhoria. Assim, a medição e monitorização do consumo de energia são comumente aceites como sendo um ponto fulcral numa gestão eficaz de energia [6,9,11-13]. Esta monitorização irá auxiliar a gestão na tomada de decisões relacionadas com a implementação de medidas de melhoria da eficiência energética, bem como acompanhar o impacto das mesmas verificando a eficácia destas.

Com a monitorização do consumo de energia podemos identificar de imediato algumas fugas na rede, por exemplo fugas de vapor e ar comprimido, sendo estas as mais comuns. Com a resolução das mesmas é conseguida uma poupança significativa de energia sem grandes investimentos por parte da empresa.

Por exemplo, um purgador de vapor defeituoso que esteja a escoar vapor vivo a 21 bar durante uma hora por um orifício de $\pm 4,8$ mm irá gerar um desperdício de cerca de 121 kg. Com o preço do vapor a rondar os 18 €/ton, uma fuga deste tipo poderá resultar numa perda anual de 17.800 €. Visto que numa fábrica existem dezenas de purgadores de vapor e que é previsto que 20% dos purgadores falhem num ano, este desperdício irá representar uma perda de dezenas, se não centenas, de milhar de euros ao ano que poderiam ser evitadas [9].

Em relação ao ar comprimido, acredita-se que até 50 % do consumo de ar comprimido seja devido a fugas, o que resulta num sobre carregamento dos compressores e num gasto excessivo de capital. Perante a dificuldade de identificação das fugas em campo, visto que não são visíveis ao olho humano e que a audição das mesmas é também dificultada pelo ruído característico das fábricas, a monitorização desempenha um papel importante na deteção destas. Ao investigar o comportamento dos compressores perante a demanda de caudal de ar momentâneo mensurado, em tempo real, por caudalímetros, bem como o consumo normal de operação, permitirá à empresa identificar as mudanças necessárias a melhorar a sua eficiência [13].

2. Introdução

A monitorização a longo prazo permitirá ainda um conhecimento aprofundado sobre o comportamento e saúde da fábrica fazendo com que os gestores responsáveis aprendam a reconhecer certos padrões impregnados nos dados medidos, reconhecendo assim possíveis problemas antes destes acontecerem. Posto isto, ações preventivas poderão ser postas em prática [9].

Em suma, a medição e monitorização dos consumos de utilidades proporcionam, na maioria das vezes, a informação necessária para começar e manter uma gestão eficaz do desempenho energético. Tal oferece o conhecimento necessário para a identificação de medidas de melhoria do desempenho energético a curto, médio e longo prazo e permite o seguimento das ações executadas de modo a verificar a eficácia das mesmas.

Sendo a medição de caudal a base da monitorização de consumos, é necessário compreender as diferentes formas de medição. Os instrumentos de medição de caudal podem ser instrumentos mecânicos de leitura local ou mecânicos/eletrónicos de leitura indireta e remota. Sendo que, nos últimos tempos, a migração da indústria para uma indústria mais autónoma e informatizada, levou a que os medidores de caudal de leitura local sejam cada vez menos comuns e os de leitura remota, com ligação a sistemas de controlo, sejam cada vez mais usados. Estes instrumentos podem ser de dois tipos, volumétricos ou mássicos. Os medidores do tipo volumétrico medem o caudal em volume e podem medi-lo de forma direta, pelo deslocamento, ou indireta, pela pressão diferencial, velocidade, tensão induzida ou por deslocamento positivo, e os medidores do tipo mássico medem o caudal em massa. Normalmente os medidores de caudal mássicos são usados em situações onde a precisão de medição é crucial, como na medição de caudal de produto a ser vendido, enquanto os medidores de caudal volumétricos são usados em situações menos exigentes [14].

A escolha do instrumento a utilizar de entre a extensa variedade de tipos de medidores de caudal com diversas características irá depender de vários fatores, como a precisão requerida de medição, o tipo de fluido a medir, bem como as características de operação do mesmo, a grandeza de volume/massa a medir, a perda de carga por este causada, o custo, entre outros. Na Tabela 2.1 pode ser visto de uma forma compilada vários tipos de medidores de caudal com as diversas características com as suas vantagens e desvantagens [14].

Tabela 2.1 Comparação de diferentes tipos de caudalímetros mais comuns. Grandezas medidas: Placa de Orifício, Tubo Venturi e Tubo Annubar (Pressão diferencial); Turbina (rotação); Ultrassónico (Velocidade); Eletromagnético (Tensão induzida); Rodas Ovais (Deslocamento Positivo); Vórtex (Frequência); Coriolis (Força de Coriolis). Fonte: [14]

	Caudal máx./min.	Precisão em % em toda a escala	Escala	Pressão máx. bar.	Temp. máx. °C	Perda de carga máx. m=mc. b=bar	Aplicação	Materiais de construção	Custo relativo	Vantagens	Desvantagens
Placa de orifício	3 : 1	1-2 %	√	400	500	20 m	Liq./ vapor /gás	Metais e plásticos	Baixo	Simples, económico	ΔP, fluidos limpos
Tubo Venturi	»	0,75 %	»	»	»	4 m	»	»	Muito elevado	Precisão, pouca ΔP	Muito caro, fluidos limpos
Tubo Annubar	»	1 %	»	»	»	-	»	»	Baixo	Simples, económico	Pouca precisão
Turbina	15: 1	0,3 %	linear	200	250	0,7 b	Liq./ gás	Metais	Alto	Precisão, ampla margem	Calibr. cara, fluidos limpos
Ultra-sónico	20: 1	2 %	»	100	250	nula	Líquidos	Metal, plásticos	»	Qualquer líquido, baixa Δp	Caro, calibração sensível à densidade
Eletromagnético	100: 1	0,5-1 %	linear	20-200	150	nula	»	Teflón, fibra de vidro (tubo)	Alto	Baixa Δp	Caro, líquidos condutores
Rodas ovas	10: 1	0,5 %	»	100	180	1 b	»	Metais	Médio	Indep. dens. e visc.	Δp
Vórtex	10: 1	1 %	»	50	400		Liq./gás		»	Vibrações	Insensível a baixo caudal
Coriolis	10: 1	±0,5 %	»	400	200	0,1 a 3 b	Liq./gás	Metal, plásticos	Alto	Independente, pressão, temp., dens.	Caudais médios

2.3 NORMA ISO 50001:2011

Com o intuito de guiar qualquer organização por um caminho mais eficiente energeticamente, foi criada pela International Organization for Standardization (ISO) a Norma ISO 50001. Esta foi concebida com uma série de guias visando o melhoramento do desempenho energético auxiliando as empresas não só a poupar capital e recursos bem como fazer face ao aquecimento global. A certificação da ISO 50001 serve também para oficializar o compromisso de melhoria do desempenho energético de uma organização.

A ISO tem como lema “*Great things happen when the world agrees*”. Este traduz a ideia de que se o mundo trabalhar em conjunto rumo a um único objetivo, este conseguirá realiza-lo.

A ISO é uma instituição internacional independente não-governamental com membros de 162 órgãos nacionais de normalização espalhados pelo mundo.

Esta é responsável pela conceção de inúmeras normas abrangendo diversos assuntos que descrevem especificações de produtos, serviços e sistemas com o intuito de garantir a qualidade, segurança e eficiência.

Na continuação deste subcapítulo será feita uma descrição da Norma ISO 50001 baseada na versão portuguesa da Norma Europeia EN ISO 50001:2011 emitida pelo Instituto Português da Qualidade [15].

A ISO 50001 tem como objetivo facultar a qualquer tipo de organização diretivas que permitam estabelecer sistemas e processos necessários ao melhoramento do desempenho energético. Sendo que desempenho energético compreende eficiência energética, uso e consumo de energia.

Com a implementação desta Norma, a ISO pretende direcionar as organizações aderentes para a redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como outros impactes ambientais, e redução de custos de energia através de uma gestão sistemática de energia.

Prevê-se que a implementação desta Norma atinja até 60% do consumo mundial de energia [16].

Sendo a ISO 50001 uma Norma voluntária, a sua certificação, quer por auditorias internas, quer por auditorias realizadas por empresas externas certificadas, serve sumamente para as organizações garantirem e demonstrarem a terceiros a conformidade da sua política energética.

Esta Norma especifica os requisitos necessários para estabele

cer, implementar, manter e melhorar um sistema de gestão de energia. Cabe posteriormente à organização desenvolver e implementar uma política energética bem como delinear objetivos e planos de ação consoante as suas necessidades respeitando os requisitos explicitados na Norma.

A Norma baseia-se na metodologia conhecida por “*Plan-Do-Check-Act*” (PDCA) que consiste num ciclo de quatro etapas que se vão realizando sucessivamente rumo a um objetivo, neste caso a melhoria do desempenho energético. A incorporação deste método na gestão de energia relativa à atividade diária das organizações resulta num método flexível que se adapta facilmente a diferentes situações permitindo assim uma melhoria contínua do desempenho energético da organização.

O método exposto na Norma pode ser descrito graficamente pela Figura 2.1.

2. Introdução

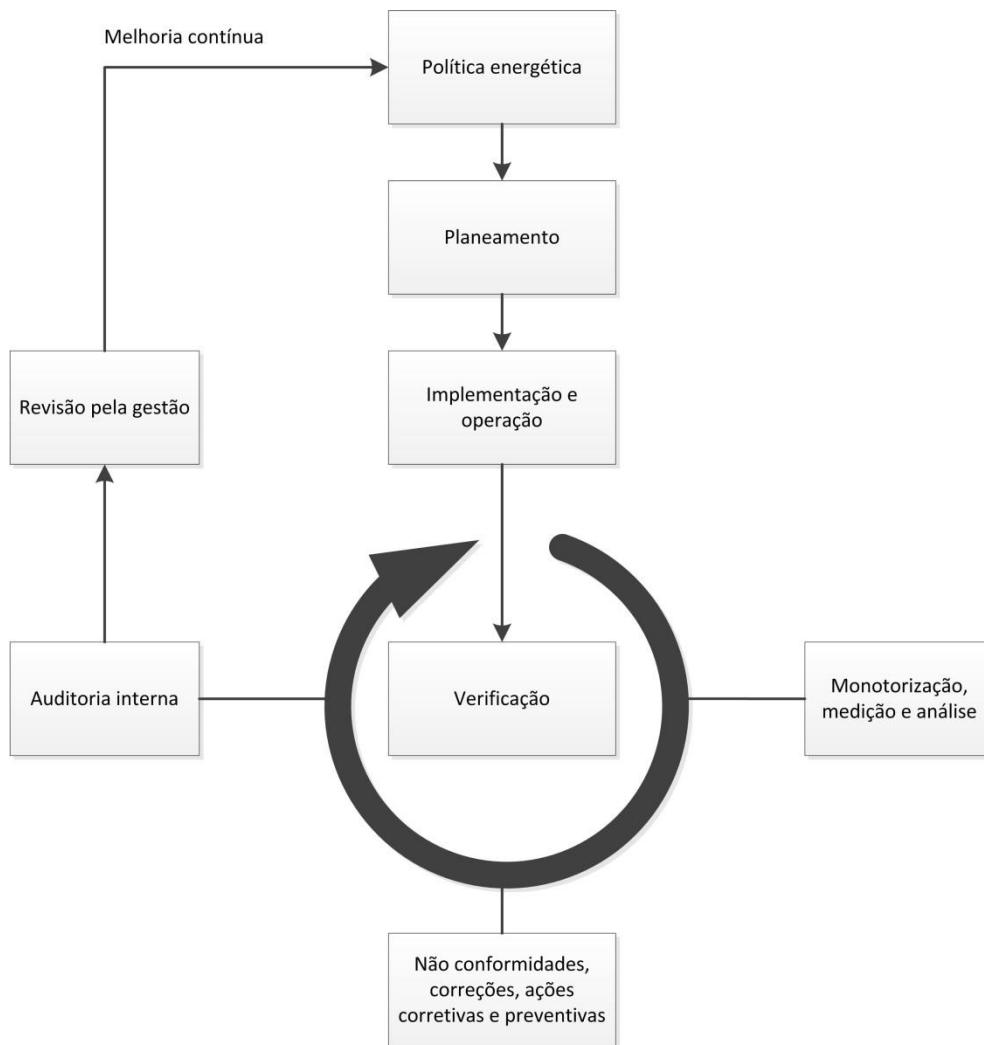


Figura 2.1 Esquema representativo do modelo do sistema de gestão de energia. Fonte: [15]

De uma forma resumida, o método consiste em:

- “*Plan*” (Planear):

A gestão de topo deverá desenvolver uma política energética como forma de demonstrar o compromisso desta em melhorar o sistema de gestão de energia (SGE) e consequentemente melhorar o desempenho energético da organização. A política energética deverá ser adequada às dimensões energéticas da organização e compreende um compromisso onde a melhoria de desempenho energético, a disponibilização de recursos necessários e o cumprimento de exigências legais aplicáveis seja assegurado. A gestão de topo deverá ainda identificar o âmbito e as fronteiras do SGE e assegurar que os indicadores de desempenho energético (IDE) sejam os adequados, que os objetivos e metas energéticas estejam estabelecidos e que os resultados sejam medidos e registados nos intervalos de tempo estabelecidos. Um representante da gestão de topo deverá ser nomeado e uma equipa responsável pela implementação e manutenção do SGE deverá ser formada.

O planeamento energético começa pela realização de uma avaliação energética onde o uso e consumo de energia são analisados baseados em medições entre outros dados. Posto isto, as áreas com uso significativo de energia são identificadas e oportunidades de melhoria de desempenho energético poderão

2. Introdução

ser sugeridas, priorizadas e registadas. De modo a averiguar a evolução do desempenho energético, a organização deverá estabelecer um consumo energético de referência. A organização deverá também identificar IDEs adequados à medição e monitorização deste. A organização deverá ainda estabelecer objetivos, metas e planos de ação concordantes com a política energética estabelecida, com o intuito de produção de resultados positivos relativos à melhoria do desempenho energético.

- “Do” (Executar):

Nesta etapa serão implementados os planos de ação desenvolvidos anteriormente. O processo de implementação deverá ser devidamente documentado. A organização deverá ter a atenção de assegurar que os funcionários que estejam relacionados com o uso intensivo tenham o nível de competências adequados às suas funções. A organização também deverá formar os seus funcionários com o intuito de os consciencializar da importância da conformidade com a política energética e com os requisitos do SGE. Todos os funcionários deverão também estar cientes das suas responsabilidades.

- “Check” (Verificar):

Aqui serão monitorizadas medidas e analisadas as características chave que possibilitam a determinação do desempenho energético. Estas deverão incluir os usos significativos de energia, outras variáveis relevantes relacionadas com os usos significativos de energia, IDEs, a eficácia dos planos de ação que foram postos em prática e a avaliação do consumo real face ao esperado. Todos estes resultados deverão ser registados. Um planeamento das medições de energia deverá ser elaborado e atualizado sempre que as necessidades de medição da organização o demandem.

O cumprimento de requisitos legais e outros que a organização subscreva deverão ser avaliados regularmente em intervalos de tempo definidos. Os resultados das avaliações deverão ser documentados.

As não-conformidades, existentes e previstas, devem ser corrigidas com intervenções, corretivas e preventivas. Devem ser guardados os registos das ações.

Auditorias internas ao SGE deverão ser realizadas periodicamente de modo a assegurar que o SGE está em conformidade com os objetivos energéticos, metas e ações planeados e se o SGE foi efetivamente implementado, mantido e que de facto melhora o desempenho energético.

Um controlo sobre os registos deverá ser mantido na medida que estes são necessários para demonstrar a conformidade com os requisitos do SGE da organização e da Norma e mostrar os resultados alcançados relativos à melhoria do desempenho energético.

- “Act” (Atuar):

Por fim, a gestão de topo deverá realizar uma revisão aprofundada ao seu SGE. A análise deverá abranger as ações de seguimento sobre as revisões anteriores, uma revisão à política energética e à evolução do desempenho energético bem como os IDE relacionados, os resultados da avaliação de conformidade para com as exigências legais e requisitos presentes na Norma, o grau de cumprimento dos objetivos e metas energéticos propostos, os resultados das auditorias efetuadas, o estado das ações corretivas e preventivas, o desempenho energético previsto para o próximo ciclo e recomendações de melhoria. No final desta análise deverá resultar um conjunto de decisões e ações que visem a melhoria contínua do desempenho energético.

2. Introdução

2.3.1 A Fisipe e a implementação da ISO 50001

Tendo sido já mencionado no capítulo 1, a Fisipe sempre se interessou pela melhoria contínua do seu processo visando a melhoria da qualidade e do desempenho energético e ambiental.

A Fisipe tendo um consumo anual de 40.000 tep, representando uma fatura anual de cerca de 11 M€, é considerada um consumidor intensivo de energia sendo abrangida pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) [17].

O SGCIE é regulado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008 com o objetivo de “promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia” [18].

A obrigatoriedade da certificação SGCIE é abrangida a instalações consumidoras intensivas de energia que tenham um consumo energético superior a 500 tep/ano. Estas ficam assim obrigadas a promover o registo das instalações, a realizar auditorias energéticas, a elaborar Planos de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) e a executar e cumprir os PREn aprovados [18].

Em relação às auditorias energéticas, em instalações com consumo superior a 1000 tep/ano, como é o caso da Fisipe, estas deverão ser realizadas com uma periodicidade de seis anos [18].

Posteriormente, a elaboração do PREn é baseada nos relatórios resultantes das auditorias energéticas. É requerido que todas as ações de melhoria propostas no PREn sejam implementadas nos primeiros três anos e que o seu investimento tenha um retorno num período inferior ou igual a cinco anos. A instalação deverá ainda estabelecer metas relativas à intensidade energética e carbónica, com a obrigatoriedade de cumprir, no mínimo, uma melhoria de 6% dos indicadores de intensidade energética e manter os valores históricos de intensidade carbónica [18].

Para além dos esforços realizados, no ano de 2016 a empresa obteve a certificação ISO 50001 de modo a demonstrar o seu compromisso na melhoria do seu desempenho energético.

Entre outras medidas a serem implementadas, a Fisipe tem a intenção de melhorar a sua monitorização do consumo de utilidades ampliando o seu conhecimento sobre a rede.

3 CASO ESTUDO: DESCRIÇÃO PROCESSUAL

Para melhor conhecer o processo e as suas necessidades relativas ao consumo de utilidades, neste subcapítulo será descrito o processo produtivo das principais áreas de produção e respetivo consumo de utilidades.

De notar que quando se refere a “L3” está-se a referir à linha de produção de têxtil e “P2” à linha de produção de precursor.

3.1.1 Área CP

A Área de Polimerização Contínua divide-se em duas linhas de produção distintas. Área CP1 para a produção de polímero L3 para produção de fibra têxtil e Área CP2 para produção de polímero P2 destinado à produção do precursor de fibra de carbono [19].

Na Área CP1 produz-se o polímero de acrilonitrilo (AN) e acetado de vinilo (AV). A reação de polimerização dá-se sob condições controladas numa bateria de quatro reatores CSTR com uma conversão aproximada de 90%. À descarga dos reatores é-lhe adicionado um inibidor de polimerização para que a reação pare. De seguida a suspensão chamada de *Direct Slurry Feed* segue para uma coluna de *stripping* (coluna SS) onde o acrilonitrilo é removido. A suspensão de polímero resultante sofre uma lavagem e filtração a vácuo de modo a retirar a maior parte da água e pequenas impurezas presentes na solução aquosa. Enquanto o filtrado e águas de lavagem seguem para uma coluna de destilação (coluna MS) para a recuperação dos restantes monómeros ainda presentes em solução, o bolo de filtração (polímero húmido) segue para o peletizador. O polímero em *pellets* é alimentado ao secador sendo distribuído uniformemente pela tela onde a água será removida ao longo da passagem pelo secador onde uma corrente descendente de ar quente faz evaporar a água. Por fim realiza-se a moagem do polímero e o seu armazenamento no parque de silos (Área PS) [19].

A produção de polímero P2 é semelhante à produção de polímero L3 diferindo nos reagentes que neste caso são o acrilonitrilo (AN) e o ácido itacónico (ITA). A reação de polimerização é feita numa bateria de dois reatores CSTR e devido ao elevado grau de qualidade requerido para a produção de precursor todas as soluções de alimentação são previamente filtradas. As restantes etapas até se formar o polímero em pó são análogas à produção de L3. De referir que os dois processos partilham a coluna MS sendo que apenas na produção de L3 os monómeros recuperados são adicionados à alimentação aos reatores [20].

Em termos de consumo de utilidades, a área consome DIW2 para adição de água aos reatores e para a preparação das soluções de alimentação dos reatores e DIW1 como água de lavagem para o filtro rotativo sob vácuo e adição de água em diversos outros pontos do processo [19].

O arrefecimento dos reatores é feito por um sistema de TW em circuito fechado, com caudal elevado, em que o caudal de água em circulação é controlado pela admissão de uma corrente de make-up de TW, proveniente das torres de arrefecimento da Área UT, e pelo desvio do retorno da camisa que envia o excedente de água em circulação para as torres de arrefecimento. Para manter a temperatura da água em circulação, a corrente de make-up é arrefecida num permutador com Água Gelada (CW). A baixa temperatura dos reatores também é assegurada pelo arrefecimento com CW das soluções de alimentação e de DIW2 ao reator [19].

3. Caso Estudo: Descrição Processual

A coluna SS tem dois condensadores em série, o primeiro condensador trabalha com TW e o segundo CW. De referir que o segundo condensador só entra em serviço quando a capacidade de permuta do primeiro condensador não é a suficiente [19].

A admissão do calor necessário ao funcionamento das colunas de *stripping* é feito pela injeção de vapor vivo 5S nas próprias colunas. O Vapor 5S é também usado para ajustar a temperatura dos vários estágios de admissão de ar quente ao secador depois destes serem aquecidos com condensados [19].

3.1.2 Área DP

Tal como na Área CP, a Área DP também se divide em duas linhas de produção distintas para que não haja contaminação no produto final de precursor de fibra de carbono, no entanto o seu processo produtivo é semelhante.

O processo de formação de xarope começa por misturar o polímero em pó, vindo do parque de silos, com caudal controlado de solvente dimetilacetinamida (CR), vindo da Área SR. O solvente, previamente à mistura, é arrefecido com CW para não permitir que o polímero se dissolva e se forme uma suspensão homogénea. A suspensão formada segue para um tanque tampão de onde é enviada para um tanque de desaerificação passando depois por dois permutadores de calor. A suspensão é primeiramente aquecida no pré-aquecedor com condensados e depois no aquecedor com Vapor 5S de modo a que o polímero se dissolva no solvente. De seguida a mistura passa pelos filtros prensa onde ficam retidas impurezas e partículas sólidas de polímero não dissolvido. Por fim, o xarope é enviado para os tanques de *spin* de onde é bombeado para a Área SP [19,20].

No caso da produção de xarope P2, depois da dissolução do polímero nos permutadores o xarope passa por um permutador extra com TW para baixar a sua temperatura antes de ser extrudido na Área SP [20].

É também nesta área que é recuperado todo o polímero e solvente, na forma de pó, xarope, fibra, etc., resultantes de arranques de máquinas, lavagens e de produções não conformes, produzindo assim xarope regenerado do qual se obtém fibra de qualidade inferior. Este xarope é produzido de forma similar à produção de xarope supra descrito [19].

Para além da produção dos xaropes, a Área DP também produz as suspensões de deslustrante, de negro fumo (pigmento para fibra preta pigmentada) e dispersão de pigmentos, sendo estas suspensões posteriormente adicionadas na alimentação de xarope às máquinas de *spinning* [19].

3.1.3 Área SP

Na Área de *Spinning* é produzida a fibra acrílica através de extrusão do xarope produzido na Área DP. Existem 10 máquinas de *Spinning* (SPM), 9 para produção essencialmente de fibra têxtil e algumas variedades de técnicas (SPM1 - 9), Área SP1, e 1 para produção de precursor de fibra de carbono (SPM10), Área SP2 [19,20].

O xarope vindo da Área DP1, começa por ser distribuído pelas 9 máquinas alimentando os vários coletores e aquecido com Vapor 5S nos respetivos permutadores de modo a ajustar a temperatura de alimentação de xarope à pretendida. De seguida o xarope é enviado para respetiva cuba de coagulação através dos *spinnerets*. Estes são constituídos por milhares de orifícios e o xarope ao passar pelos mesmos irá formar os filamentos da fibra. Os *spinnerets* estão imersos numa solução aquosa rica em CR (55CR) em recirculação para que haja uma fácil difusão do solvente do xarope na solução, promovendo assim a

3. Caso Estudo: Descrição Processual

coagulação e a formação dos filamentos. A solução de CR em recirculação é mantida a temperatura constante através da permuta de calor do 55CR com TW num permutador à entrada de cada cuba. O excesso de solução aquosa de CR é enviado para a Área SR [19].

De seguida, as fitas formadas (fita = feixe de filamentos) irão passar por diversas etapas de lavagem, para remoção de CR, e estiramento, para condicionar as propriedades físicas da fibra. Para tal, as fitas são direcionadas para as cubas de lavagem chamadas de TM, onde circula em contra corrente RW, água recuperada na Área SR com quantidades residuais de CR, de modo a remover o restante solvente ainda presente na fibra. A RW vinda do SR é aquecida em dois permutadores, um primeiro pré-aquecedor com vapor *flash* e um segundo aquecedor com Vapor 5S, entrando depois na última cuba de lavagem. Ao longo da SPM, a fibra vai também sofrendo um estiramento pela diferença de velocidades entre os rolos que a transportam. Para o processo de estiramento em curso é requerido que as últimas cubas TM-5-TM7 (“cubas quentes”) sejam aquecidas por injeção de vapor vivo na recirculação das cubas. Nas primeiras cubas TM1-TM4 (“cubas frias”) a temperatura fornecida pela água de lavagem é a suficiente [19].

Para a produção de fibra *gel-dyed* é adicionado uma mistura de corantes enquanto a fibra ainda está em forma de gel. Esta operação dá-se na cuba de *gel-dyeing* (cuba TMD) que está situada entre as cubas frias e cubas quentes. A cuba TMD só existe em algumas das SPM [19].

A aplicação de acabamento dá-se após a lavagem onde as fitas passam pela cuba TMF contendo uma emulsão aquosa de produtos de acabamento. De seguida a fibra sofre uma operação de secagem num sistema de rolos secadores aquecidos com vapor laminado de 20S, onde toda a água presente na fibra evapora. No final da SPM a fibra passa por dois rolos arrefecidos com DIW1. Esta água de arrefecimento dos rolos encontra-se em recirculação num circuito fechado (sistema LW) partilhado entre as 10 máquinas, L3 + P2, e é arrefecida normalmente com TW, no caso de produção de fibra têxtil, ou com CW, na produção de precursor. De referir que quando a capacidade de arrefecimento do permutador de TW não é a suficiente, a água que alimenta os rolos das máquinas SPM1 a 9 pode também ser arrefecida com CW [19,20].

Por fim, as fitas convergem para que sejam condicionadas por contacto com vapor vivo, preparando-as para a frisagem. A operação de frisagem dá-se num *crimper* sendo este constituído por um par de rolos mordentes que forçam a fibra por uma caixa de saída restringida. A frisagem serve assim para permitir um manuseamento da fibra nas etapas posteriores sem que haja a ocorrência de emaranhamentos [19].

O *spun tow* produzido cai por gravidade num distribuidor que deposita a fibra em ziguezague num contentor metálico na Área CB [19].

A produção de P2, embora seja parecida à produção de L3, detém algumas diferenças não só de condições de operação, mas também nas etapas de produção. Estas são: o xarope proveniente da Área DP2 é aquecido com água quente antes de ser alimentado à cuba de coagulação; a SPM10 produz então precursor 50k, com 50.000 filamentos sendo que a fibra passa primeiramente por 8 cubas de lavagem, FM1-FM8, depois por uma cuba de relaxação seguidamente de outras duas cubas, FM10 e FM11, antes de ser alimentada à cuba TMF; a temperatura destas últimas cubas é mantida pelo sistema de arrefecimento com CW na recirculação da TMF e FM10 e FM11; a fibra depois de passar pelos primeiros rolos secadores semelhantes às outras SPM, esta passa ainda por um segundo conjunto de rolos secadores e por fim por rolos arrefecidos; à saída dos rolos existe um spray de água que visa reduzir a eletricidade estática associada às fitas e humidifica a fibra de modo a protege-la das fases seguintes; segue-se a operação de emaranhamento do cabo com o objetivo de manter a coesão do mesmo, emaranhando os filamentos com

3. Caso Estudo: Descrição Processual

recurso a Ar Comprimido; no caso do produto final ser embalado em caixas, este passa por etapa final de entrelaçamento facilitando a deposição do cabo na caixa e assegura que durante o transporte o produto manterá a individualidade dos cabos [20].

Dado ao elevado teor de CR nos gases de exaustão das primeiras cubas, zona rica em CR, é necessário remover o solvente presente nos gases antes destes serem enviados para a atmosfera. A remoção é feita em dois passos, primeiro, os gases exauridos são arrefecidos ao passar por um permutador tubular com TW-B, depois atravessam uma cortina de DIW1 (previamente arrefecida com CW) de modo a condensar o solvente presente na corrente gasosa. A solução de CR recuperado será posteriormente enviada para o SR [19].

3.1.4 Área CB

A Área CB recebe o *spun tow* proveniente do SP em contentores metálicos.

Para a produção de fibras têxteis com destino a rama e cabo, é necessário que a fibra passe por uma etapa de recozimento visando a melhoria das propriedades físico-químicas. O recozimento dá-se na autoclave onde é alimentado vapor saturado sob pressão, assegurando assim a penetração do vapor na fibra. A fibra com destino a cabo é embalada em fardos com cerca de 500 kg. O cabo em contentores pode abastecer a Área TT. A fibra para a produção de rama, depois do recozimento, passará por uma etapa de refrigeração, arrefecimento, corte e embalagem. No caso da rama retrátil, a fibra terá ainda que sofrer um estiramento adicional anterior à refrigeração. A rama será embalada em fardos de cerca de 300 kg [19].

Para a produção de fibras técnicas e precursor de fibra oxidada não é necessário realizar o recozimento das mesmas. O cabo proveniente do SP com destino a produção de fibra técnica é recolhido em contentores. O cabo permanece nos contentores por um determinado tempo de modo a arrefecer. De seguida o cabo sofre uma etapa de corte sendo alimentado diretamente ao cortador. Depois do corte a fibra é embalada em sacos ou paletes de peso variável [19].

No caso do precursor de fibra oxidada, a fibra é recolhida diretamente da área SP em caixas de cartão.

O consumo de utilidades nesta área resume-se ao consumo de Vapor 20S que alimenta as autoclaves depois de laminado e dessobreaquecido com DIW1 para vapor saturado a 5 bar e TW-B para o condensador [19].

3.1.5 Área SR

A Área SR é alimentada diretamente da Área SP com uma solução aquosa de CR (40-50% w/w). Esta solução além do solvente e água é também constituída por alguns contaminantes como sólidos, polímero degradado e alguns sais insolúveis, e produtos resultantes da hidrólise do solvente, DMA e AC [19].

Primeiramente a solução sofre uma etapa de separação – Processo SR – onde o solvente será removido da solução visando recuperar o solvente mantendo-o dentro das especificações. A recuperação é feita por destilação num arranjo de quatro colunas em série com enchimento estruturado. As colunas funcionam com valores de pressão de cabeça em redução sucessiva, permitindo assim a integração energética entre as colunas reduzindo assim o consumo de vapor e água de arrefecimento necessárias [19].

A alimentação é feita na coluna do 2º efeito sendo a água removida como vapor de cabeça e condensada, onde o calor libertado aquece a recirculação do 3º efeito [19].

3. Caso Estudo: Descrição Processual

A cauda do 2º efeito alimenta a coluna do 3º efeito. O sistema é semelhante, a água sai como vapor de cabeça e irá sofrer condensação. O calor libertado na condensação irá aquecer a recirculação do 4º efeito [19].

A coluna de 4º efeito é alimentada a partir da cauda do 3º efeito. A água é também removida como vapor de cabeça e condensada. No entanto, o condensador trabalha com TW. A água recuperada (RW) na cabeça das colunas é armazenada e posteriormente enviada para a Área SP. A cauda do 4º efeito é alimentada ao tanque 70CR com uma concentração em CR de cerca de 80% [19].

A alimentação à coluna do 1º efeito é feita a partir do tanque de 70CR sendo esta primeiramente aquecida com outras correntes quentes do processo e Vapor 20S. Desta corrente é feita uma purga para a remoção de sólidos. O vapor de cabeça desta coluna é condensado sendo que o calor libertado serve para aquecer a recirculação do 2º efeito. Do condensado resultante parte seguirá para a coluna de *stripping* de DMA enquanto o restante é enviado para os tanques de armazenagem de RW [19].

A cauda em recirculação do 1º efeito é aquecida com Vapor 20S. A cauda da coluna passa diretamente para um separador flash. O vapor de CR aqui produzido é condensado e armazenado nos tanques de CR recuperado. O líquido de cauda do evaporador flash é enviado para as duas colunas de stripping de remoção de AC [19].

As colunas de AC encontram-se integradas energeticamente sendo que o calor libertado da condensação do vapor de cabeça da 1ª coluna aquece a recirculação da 2ª coluna de AC. O revaporizador da 1ª coluna é aquecido com Vapor 20S e o condensador da 2ª coluna é arrefecido com TW. Caso a capacidade de arrefecimento da TW não seja a suficiente é utilizado um condensador arrefecido com CW. Os produtos de cabeça, constituídos maioritariamente por CR contendo concentrações vestigiais de AC, são enviados para o tanque de CR recuperado depois de condensados. Os produtos de cauda, constituídos por uma solução de AC em CR, são enviados para o processo SM [19].

A coluna de *stripping* de DMA é uma coluna de pratos onde a DMA é recuperada como vapor de cabeça constituído por água e alguma DMA. O vapor é parcialmente condensado num condensador onde é utilizada TW. O condensado é redirecionado de volta à coluna como refluxo total e o vapor constituído por DMA mais água de saturação é reenviado para o processo SM. O revaporizador da coluna pode utilizar vapor flash, proveniente do tanque de condensados de alta pressão, ou Vapor 5S. A água recuperada como produto de cauda é enviada para os tanques de RW [19].

No processo SM o principal consumo de utilidade é o consumo de TW para o sistema de refrigeração. O sistema consiste em DIW1 em recirculação entre vários pontos de permuta na fábrica e um permutador onde a DIW1 é arrefecida com TW. De notar que o processo SM é duas ordens de grandeza inferior ao processo SR [19].

3.1.6 Área UT

A Fisipe consome Água Industrial (W), Água de Refrigeração (TW), Água Gelada (CW), Água Desionizada (DIW), Vapor a 7bar (5S), Vapor a 20bar (20S), Ar Comprimido (A) e azoto (IG).

- **Água industrial (W)**

3. Caso Estudo: Descrição Processual

A Água Industrial provém de dois furos feitos dentro do perímetro da Fisipe. Esta irá abastecer toda a fábrica em geral.

A água captada dos furos é enviada para um tanque de armazenagem na Área UT com uma capacidade de 1300-1600 m³, sendo que as bombas de captação têm uma capacidade conjunta de cerca de 400 m³/h [19].

O tanque de Água Industrial alimenta dois circuitos distintos de água. Em primeiro, o circuito de Água Industrial que alimenta as várias áreas fabris, principalmente a Área UT para a produção de TW e DIW. Em segundo o circuito da rede incêndios que se estende por todo o perímetro fabril [19].

- **Água de refrigeração (TW)**

A Água de Refrigeração é utilizada em permutas de calor onde se queira remover calor em gamas de temperatura superiores à temperatura ambiente. Esta água circula em circuito fechado entre a fábrica, onde tem um incremento de temperatura de 10-15 °C, e as torres de refrigeração, onde perde o calor ganho na permuta. Os módulos das torres têm uma capacidade de caudal total de água de 1200 m³/h, sendo a capacidade máxima das bombas 900 m³/h (com as duas bombas a trabalhar) [19].

As torres de refrigeração têm como princípio de funcionamento o contacto direto entre duas correntes. A corrente fria de ar entra na base da torre e ascende ao mesmo tempo que aquece e humidifica, em sentido contrário a corrente quente de água de retorno proveniente da fábrica desce e arrefece, quer por perda de calor sensível quer por cedência de calor necessária à vaporização de parte do líquido. A razão pela restrição de temperatura acima mencionada deve-se ao facto da temperatura mínima a que se consegue arrefecer a água é cerca de 3 °C acima da temperatura de termómetro húmido do ar nas condições de entrada [19].

Para garantir o bom funcionamento das torres a temperatura de entrada das torres não deve ultrapassar os 40 °C e manter o pH a 6,5-8 [19].

Apesar de ser um circuito fechado as perdas de líquido são inevitáveis ao longo do seu percurso. As perdas dão-se essencialmente por arrastamento pelo ar, por evaporação e pela purga que é realizada regularmente de forma a purgar os sais que se vão acumulando à medida que a água vai evaporando. Para repor o nível de água em circulação é alimentado ao sistema uma corrente de água de make-up proveniente do tanque de W. Esta água sofre previamente um tratamento para que não haja precipitação de sais, aparecimento de algas e bactérias e reduzir também o risco de corrosão das tubagens [19].

Na Fisipe existem 3 circuitos independentes de Água de Refrigeração. A TW-A alimenta as áreas SP e DP, a TW-B alimenta a Área CB e, por fim, a TW alimenta as restantes áreas, CP, SR, UT e a instalação piloto [19].

- **Água Gelada (CW)**

A Água Gelada, sendo uma utilidade mais fria, com temperaturas a rondar os 6 a 9 °C, é utilizada em condições de operação onde se pretenda arrefecer uma corrente abaixo da temperatura ambiente. A água circula também em circuito fechado entre os vários pontos de permuta na fábrica e as máquinas de Água Gelada [19].

3. Caso Estudo: Descrição Processual

O funcionamento das máquinas de Água Gelada baseia-se na implementação prática do ciclo ideal de Camot numa vertente designada de compressão-vapor de Rankine [19].

O refrigerante, sendo o amoníaco neste caso, circula em circuito fechado na máquina sofrendo operações de compressão, condensação, expansão e evaporação de uma forma consecutiva [19].

A refrigeração da Água Gelada ocorre na etapa de evaporação, onde o calor necessário à evaporação do refrigerante é retirado à água, diminuindo assim a sua temperatura. Na produção de Água Gelada é também consumida eletricidade na realização de trabalho na compressão do refrigerante e Água de Refrigeração no condensador [19].

A produção de CW é realizada em 3 máquinas de Água Gelada em paralelo e é alimentada à fábrica por quatro linhas independentes [19].

- **Água Desionizada (DIW)**

A Água Desionizada é uma água de elevada pureza com baixo teor de sais dissolvidos. Na Fisipe esta é produzida por osmose inversa. Na Fisipe existem três unidades de desionização, cada uma para a produção de DIW1, DIW2 e DIW3 respetivamente. A DIW1 e DIW3 têm o mesmo grau de pureza sendo que a DIW2 é uma água mais pura. As unidades de desionização são propriedade da GE Power - Water & Process Technologies alugadas à Fisipe [19].

As unidades de desionização para a produção de DIW1 e DIW3 são constituídas por dois passos de osmose inversa enquanto a unidade de produção de DIW2, além dos dois passos de osmose, tem um passo de eletrodesionização adicional [19].

No processo de separação de osmose inversa a água é forçada a passar por uma membrana que funciona como barreira seletiva entre as duas fases. São assim obtidas duas correntes com concentrações de sais diferentes. Uma de permeado com concentração inferior à alimentação e outra de rejeitado com concentração de sais superior à alimentação [19].

O processo de separação de eletrodiálise consiste num arranjo de membranas iónicas que na presença de um campo elétrico separam as espécies iónicas da solução aquosa e dos restantes componentes sem carga (neutros) [19].

- **Vapor de 7 e 20 bar (5S e 20S)**

O vapor consumido pela Fisipe é produzido na Central de Cogeração do Barreiro (CCB). A central produz vapor somente para a Fisipe e fornece energia elétrica à rede geral da EDP.

No primeiro estágio do processo de cogeração dá-se a combustão do gás natural. Os gases quentes resultantes da combustão atravessam uma turbina a gás onde o movimento gerado será transformado em eletricidade. De seguida, os gases ainda quentes atravessam uma caldeira onde é produzido o vapor.

A central é constituída por duas turbinas a gás e duas caldeiras com uma capacidade de produção em cogeração ideal de 50 ton/h de vapor. Quando o consumo requerido pela Fisipe ultrapassa este valor, a central produz o vapor extra com a queima direta de Gás Natural sem que este produza eletricidade. E quando este é inferior, a central não consegue fornecer eletricidade à rede, pelo que a Fisipe deverá manter o seu consumo nas 50 ton/h de vapor.

3. Caso Estudo: Descrição Processual

O vapor produzido nas caldeiras é um vapor a 20 bar com um sobreaquecimento de 80 – 90 °C. Parte deste vapor é enviado diretamente à Fisipe sendo que o restante é laminado para 7 bar antes de ser enviado.

- **Ar Comprimido**

A rede de Ar Comprimido é constituída por três linhas independentes: Ar de Processo (PA), Ar Geral (GA) e Ar de Instrumentos (IA). No passado, as características dos ares eram distintas pelo que a rede está seccionada, no entanto atualmente todo o ar tem as mesmas propriedades.

O ar é comprimido num conjunto de três compressores de parafuso isentos de óleo carga/vazio em paralelo trabalhando de forma alternada. Enquanto um compressor está em serviço outro está em “*stand-by*” e o outro parado. O Ar Comprimido a 7 bar é descarregado num coletor único comum aos três compressores. Daí, o ar é direcionado às duas unidades de secagem em paralelo, trabalhando alternadamente. Cada unidade é constituída por duas colunas de adsorção que funcionam alternadamente, onde a humidade é adsorvida. A troca entre as duas colunas é efetuada quando o ponto de orvalho for superior a -40 °C ou a cada 24 h. O ar depois de seco tem um ponto de orvalho de -70 a -90 °C [19].

De seguida o ar seco segue para dois tanques de armazenamento. Daí saem as linhas de ar de Processo e Geral abastecendo toda a fábrica. A linha de Ar de Instrumentos passa ainda por um filtro, que atualmente se encontra desativado, e é armazenado noutro tanque de armazenamento. Do tanque é enviado para os pontos de consumo na fábrica [19].

- **Azoto (IG)**

Fisipe detém dois tipos de Azoto, Azoto Industrial e Azoto de Alta Pureza. Existem então dois tanques de armazenamento e duas linhas independentes de alimentação de azoto. Enquanto o azoto industrial alimenta a totalidade da fábrica, o Azoto de Alta Pureza é apenas consumido pela instalação piloto CARBOPAN.

O azoto, não sendo produzido na fábrica, é comprado a uma empresa externa e chega à fábrica via camiões cisterna. O azoto líquido é descarregado diretamente nos respetivos tanques de armazenamento onde permanece armazenado em estado líquido.

À saída dos tanques existem dois vaporizadores em paralelo, trabalhando alternadamente, onde o azoto é vaporizado de modo a ser alimentado à fábrica no estado gasoso. Estes vaporizadores são aquecidos com ar ambiente.

4 METODOLOGIA

Tendo a melhoria da fiabilidade da monitorização do consumo de utilidades visando a melhoria do desempenho energético como principal objetivo, a realização da presente dissertação foi seccionada em 5 etapas:

I. Estudo preliminar sobre o processo produtivo e instalação fabril com foco nas utilidades.

Nesta primeira etapa foram estudados os manuais de operação e todos os diagramas referentes às utilidades. Durante esta fase, os manuais de operação estavam em processo de atualização pelo que as últimas modificações à fábrica não estavam documentadas. Ainda assim foi possível conhecer o cerne do processo produtivo. Quanto aos diagramas existentes, estes datavam do início da fábrica, à exceção dos P&IDs da Água Gelada e Ar Comprimido que foram atualizados aquando da construção da nova fábrica para a produção do precursor de fibra carbono. Posto isto, o seu estudo foi acompanhado de visitas à fábrica e de sondagens aos elementos responsáveis de cada área, de modo a colmatar estas falhas e assim obter dados que permitissem a continuidade do estudo (5 – 7 semanas).

II. Construção dos diagramas de rede e P&IDs

Para que qualquer gestão seja adequada e eficaz é essencial conhecer por completo o quer que esteja a ser gerido. E, sem fugir à regra, para uma gestão de energia eficaz é necessário conhecer a rede de distribuição da mesma. Visto que o consumo de utilidades é considerado como consumo de energia, o conhecimento das instalações de produção e respetivas redes de distribuição das utilidades é essencial para esta gestão.

Com a construção dos diagramas de rede e P&IDs a Fisipe fica com as ferramentas necessárias ao conhecimento da instalação, servindo estes também de auxílio à tomada de decisões relacionadas com o desempenho energético.

Os diagramas de rede têm como foco principal mostrar a distribuição geográfica da utilidade pelas diferentes áreas, bem como a instrumentação (medidores de caudal, pressão, temperatura, entre outros) desde a unidade de produção da utilidade até às entradas das diferentes áreas consumidoras. Sendo este um diagrama simplificado torna a sua consulta de fácil perceção. Assim, este tipo de diagrama servirá principalmente para a verificação não só da distribuição da utilidade pelas áreas, mas também da localização dos pontos de medição caudal, permitindo assim o mapeamento do consumo da utilidade.

Já os diagramas de processo e instrumentação são a representação gráfica do fluxo do processo contendo todos os detalhes de engenharia de tubagem, equipamentos, válvulas, instrumentação, *loops* de controlo, entre outros. O P&ID mostra de uma forma concentrada e detalhada informação técnica referente ao processo, o que faz deste uma ferramenta essencial para a gestão de uma instalação fabril na medida em que melhora o conhecimento da instalação.

Os dados necessários à construção dos mesmos foram recolhidos através do reconhecimento visual aquando das visitas à fábrica. A primeira visita de reconhecimento a cada uma das utilidades foi feita com a orientação de um colaborador da área conhecedor da instalação. Posto isto, diversas visitas às instalações foram realizadas de modo a recolher todos os dados necessários.

4. Metodologia

Para a elaboração dos diagramas de rede foi necessário recolher informação referente à distribuição da tubagem pela fábrica e à disposição da instrumentação, registando também os respetivos números de identificação. Para a construção dos P&IDs foi necessário saber o arranjo dos diversos elementos bem como os detalhes técnicos sobre os mesmos, enumerados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Dados necessários à construção dos P&ID.

Elemento	Dados
Tubagem	Fluido que transporta – nº da linha – diâmetro – material – isolamento
Equipamento	Tipo – número
Válvula	Tipo – material (número)
Instrumento	Tipo – número de identificação
Loop de controlo	Número

Após a recolha dos mesmos, estes foram conferidos com os diagramas existentes de modo a preencher alguma carência de informação. De referir que os números de linha foram facultados pela Equipa de Engenharia, responsável por todos os desenhos da Fisipe.

Os diagramas de rede foram desenhados recorrendo ao software aplicacional Visio® da Microsoft. A escolha de *software* recaiu sobre o Visio® devido ao facto de este ser um programa com uma interface conhecida e intuitiva permitindo uma fácil construção dos diagramas propostos, visto serem diagramas simplificados. A facilidade de acesso ao mesmo também suportou a sua escolha.

Devido à complexidade dos P&IDs, estes foram construídos usando o *software* aplicacional AutoCAD Plant 3D®, que desde fevereiro do presente ano passou a integrar o AutoCAD P&ID®. Este, na vertente AutoCAD P&ID®, é um *software* específico para a construção de P&IDs tendo diversas funcionalidades que vão ao encontro das necessidades encontradas na construção e tratamento de dados dos mesmos. Entre outras funcionalidades, este *software* permite atribuir características aos elementos constituintes do diagrama, como tubagem, válvulas, instrumentação, entre outros, facilitando assim a inserção de legendas dos vários elementos. Este possibilita ainda a importação e exportação destas mesmas características, permitindo, por exemplo, fazer uma lista de todas as válvulas existentes num desenho com todas as características associadas. O AutoCAD Plant 3D® contém também uma biblioteca de símbolos normalizados. No entanto, na elaboração dos diagramas P&I foi utilizada como base a legenda convencionada pela Fisipe presente no Anexo I. Os símbolos dos equipamentos não especificados na legenda foram criados de raiz.

Visto o AutoCAD® ser um programa especializado e complexo foi necessário realizar uma formação em AutoCAD® básico e AutoCAD P&ID®. A formação teve uma duração de uma semana e foi realizada na Mundissoft. Esta formação está certificada pela Autodesk®.

III. Caracterização da contabilização e distribuição do consumo de utilidades

Pela informação contida nos diagramas construídos sabe-se a distribuição da tubagem e instrumentação ao longo da fábrica. No entanto, para uma caracterização completa, é também necessário saber a distribuição quantitativa do consumo das várias utilidades pelas diversas áreas consumidoras.

Assim, toma-se premente uma avaliação sobre a monitorização do consumo de utilidades na fábrica.

4. Metodologia

Primeiramente, com o auxílio dos diagramas construídos, foram identificados os vários consumidores de cada uma das utilidades e a respetiva instrumentação de medição de caudal existente. De seguida, o relatório mensal de consumos de utilidades da Fisipe, onde consta o consumo de cada uma das utilidades pelas diferentes áreas bem como os respetivos consumos específicos (consumo de utilidade/kg fibra e/ou polímero produzidos), foi analisado de modo a averiguar a forma como o consumo das utilidades era contabilizado. Isto é, fazer um levantamento dos consumos que estavam a ser efetivamente medidos e os que estavam a ser estimados, bem como a forma de cálculo do mesmo.

Aquando da existência de medição de caudal há que verificar a fiabilidade do seu registo. Primeiro, se o contador ou caudalímetro é local ou se está ligado ao painel, WinCC, um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados da Siemens®, ou DCS (*Distributed Control System*). Segundo, se, quando está ligado ao DCS, este é emitido no relatório diário pelo DCS ou se é o operador de painel que regista o valor numa folha de registo. Claro está que os valores emitidos nos relatórios diários são os mais fidedignos, pois a possibilidade de erro humano é lhe retirada.

Posto isto, foi construída para cada uma das utilidades uma tabela onde constam todas as informações acima descritas.

IV. Identificação dos pontos críticos com necessidade de medição de caudal

A ideia principal desta medida foi melhorar a monitorização dos consumos de utilidades. A instalação de novos pontos de medida pode não representar diretamente uma poupança de energia, no entanto, poderá expor novas oportunidades de melhoria do desempenho energético na medida em que poderá indicar consumos excessivos de utilidades. Ainda ao mostrar o consumo real e instantâneo pode também revelar relações diretas entre operações unitárias do processo e consumo de utilidades.

Uma monitorização fiável será aquela em que todos os consumidores de utilidade são conhecidos e que o consumo de cada um deles é mensurado. Assim, não só à entrada de cada uma das áreas, como também à saída da utilidade da unidade produção deverá existir um ponto de medição de caudal. Isto para que haja uma redundância na medição do consumo de modo a detetar facilmente irregularidades nas medições. Tudo isto para que a contabilização do consumo seja baseada apenas em consumos mensurados.

O trabalho a realizar deverá passar por identificar os locais sem pontos de medição e criar uma lista de propostas de instalação de novos caudalímetros/contadores priorizados por diversas fases de implementação de modo a reduzir a percentagem de consumo estimado. A primeira fase de colocação destes novos instrumentos deverá ocorrer na paragem geral da fábrica na primeira semana de agosto de 2017.

De modo a identificar quais os locais onde será necessário em primeiro lugar instalar novos caudalímetros, para que se consiga descrever corretamente a distribuição do consumo das várias utilidades, foi feita uma análise comparativa entre os vários pontos de consumo sem medição de caudal.

Primeiramente, com base nas informações recolhidas, foi quantificado o consumo total estimado de cada utilidade. De seguida, para que se possa fazer uma comparação entre consumos de utilidades diferentes, foi calculado o custo associado a estes consumos. Posto isto, às utilidades com maior custo associado ao consumo estimado foi feita uma análise mais aprofundada de modo a identificar quais as áreas com consumos significativos que não estão a ser medidos. Foram estudadas possíveis instalações de novos pontos de medida com o intuito de reduzir a percentagem de consumo estimado. Perante estimativas de

4. Metodologia

consumo de cada uma das áreas sem medição foram escolhidas aquelas que maiores percentagens de consumo representam.

O caudalímetro/contador a escolher varia consoante o fluido que passa bem como o caudal, temperatura e pressão. Assim, estas condições deverão ser conhecidas. Para a medição de caudal foi contratada uma empresa externa à Fisipe, a Loop Projecto e Comércio Internacional, Lda.. A medição dos caudais foi efetuada com um medidor de caudal ultrassónico portátil clamp-on FLUXUS F601, no entanto, esta só foi possível em tubagens com fluidos líquidos. [21].

O princípio de medição deste equipamento passa pela medição da velocidade dos sinais ultrassónicos em co e contracorrente. Este usa um par de transdutores que enviam e recebem, alternadamente, sinais ultrassónicos através do fluido. O tempo de transmissão de sinal quando este é enviado na direção do escoamento, em cocorrente, Figura 4.1A, será inferior aquando do envio em direção oposta ao escoamento, em contracorrente, Figura 4.1B. O aparelho mede então esta diferença de tempo, Δt , que, por sua vez, é proporcional à velocidade do fluido. O caudal é então calculado com base neste Δt e noutras características relativas à tubagem e ao próprio fluido [22].

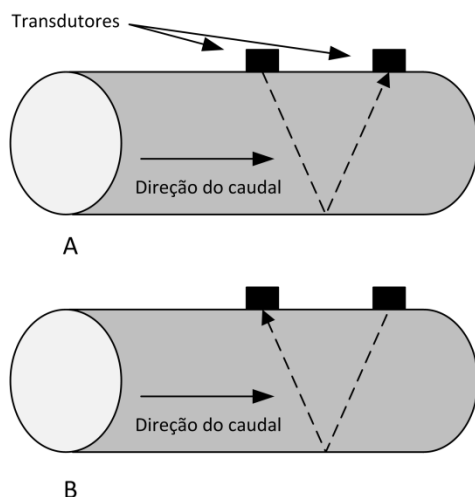


Figura 4.1 Representação gráfica da medição de caudal pelo caudalímetro ultrassónico portátil clamp-on FLUXUS F601 através da velocidade de transmissão de sinais ultrassónicos. A) Envio de sinal em cocorrente. B) Envio de sinal em contracorrente. Fonte: [22].

V. Realização de um balanço mássico e energético como ferramenta de previsão de consumo de utilidades consoante o regime de produção

Com a realização do balanço é pretendido criar uma ferramenta de previsão de consumo de utilidades das principais áreas de consumo consoante os diversos cenários de produção. Com esta ferramenta disponível, a Fisipe será capaz comparar os consumos mensurados na fábrica com o resultado do balanço teórico averiguando possíveis falhas nas utilidades. Será ainda possível verificar se as utilidades estão a ser utilizadas da forma mais eficiente e detetar possíveis fugas na rede. Este balanço poderá também servir de ferramenta auxiliar ao planeamento de produção da fábrica.

Neste balanço são incluídas as principais áreas de consumo. Estas são as áreas CP, DP, SP, CB, SR e UT. As previsões incluem as utilidades Água de Refrigeração (TW), Água Gelada (CW), Água Desionizada

4. Metodologia

(DIW1, DIW2 e DIW3), vapor de 7 e 20 bar (5S e 20S) e Ar Comprimido (AR). A previsão de consumo de energia elétrica é também incluída no mesmo.

No balanço anteriormente realizado pela Fisipe o cálculo de previsão era feito às áreas CP, DP, SP, CB, SR e UT em relação às utilidades TW, CW, DIW1, DIW2, DIW3 e Vapor 5S e 20S. O balanço foi feito aquando da projeção da nova fábrica de precursor de fibra de carbono com o intuito de prever o consumo de utilidades depois da instalação desta. Enquanto os dados referentes à fábrica têxtil eram maioritariamente resultantes de medições reais, os dados referentes à nova fábrica eram meramente dados de projeto. Facto este que, juntamente com a evolução da fábrica e atualização do *mix* produtivo face ao mercado, faz com que a previsão de consumo calculada pelo balanço não coincida com a realidade atual.

O balanço aqui produzido foi atualizado de forma a corresponder à operação atual da fábrica. Nas operações unitárias que permaneceram em funcionamento sem mudanças estruturais apenas foram atualizadas as condições de processo como temperaturas, pressões, composições e caudais. As que foram descontinuadas foram retiradas do balanço e aquelas que foram posteriormente implementadas foram adicionadas. Em relação ao balanço à nova fábrica de produção de precursor de fibra de carbono todo este foi reestruturado de modo a corresponder ao que foi realmente implantado e com as respetivas condições de operação reais.

O balanço foi construído de forma a calcular os consumos de utilidade consoante o cenário de produção. Para tal, este recebe como *input*:

- ✖ Número de reatores grandes em funcionamento – produção polímero têxtil
- ✖ Número de reatores pequenos em funcionamento – produção polímero têxtil
- ✖ Número de reatores em funcionamento – produção polímero precursor de fibra de carbono
- ✖ Número de máquinas de *Spinning* em funcionamento – produção fibra têxtil
- ✖ Número de máquinas de *Spinning* em funcionamento – produção precursor de fibra de carbono

Dito isto, a produção é calculada consoante o número de equipamentos em laboração através da produção específica de cada um dos equipamentos.

As condições de operação da fábrica têm também influência nos consumos, pelo que no *input* do balanço as seguintes condicionantes também estão incluídas:

- ✖ Operação em arranque de fábrica – Sim ou Não
- ✖ Área SR parada – Sim ou Não
- ✖ Temperatura ambiente
- ✖ Pressão do vapor laminado 5S – 5 ou 7 bar

Em termos específicos do processo produtivo é também colocado como *input* a Gamma da fibra têxtil e precursor (kg água/kg fibra).

Após a simulação do balanço este produz um relatório onde são mostrados os consumos horários das várias utilidades distribuídas pelas diferentes áreas. Os consumos relativos à fábrica de precursor de fibra de carbono são contabilizados em separado. No relatório são também mostrados os consumos específicos de utilidade, unidade de consumo de utilidade por unidade de produção de polímero ou fibra. O custo associado à produção das utilidades é também calculado. E em relação à energia elétrica, o seu consumo e custo associado é também apresentado.

O balanço produz ainda outros resultados, tais como, a quantidade de Gás Natural consumido pela CCB na produção de vapor e as emissões de CO₂ associadas à produção das utilidades consumidas.

4. Metodologia

Balanco energético

Numa primeira fase foram identificados todos os equipamentos com consumo significativo de utilidades nas várias áreas. Posto isto, as alterações necessárias ao balanço foram efetuadas, nomeadamente, a atualização e construção de novos blocos de cálculo referentes aos equipamentos recentemente implementados. De referir que o balanço energético foi construído em Excel®.

Balanco energético sem reação química

O balanço energético efetuado à fábrica teve por base a 1ª lei da termodinâmica da conservação de energia. Atendendo à premissa de que a energia que entra é igual à energia que sai, de uma forma geral, o cálculo do consumo de utilidade consistiu na determinação do calor necessário a fornecer ou remover ao processo através do balanço energético realizado ao equipamento. Tal é exemplificado na Figura 4.2 e descrito pela Equação 4.1

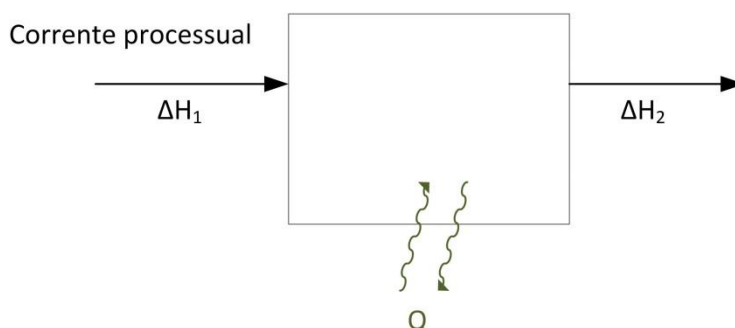


Figura 4.2 Representação gráfica do balanço energético a um equipamento.

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2$$

Equação 4.1 Equação do balanço energético sem reação química.

Em que:

- * ΔH_1 = Entalpia da corrente processual de entrada (kJ)
- * ΔH_2 = Entalpia da corrente processual de saída (kJ)
- * Q = Calor fornecido ou removido (kJ)

Com:

$$\Delta H = m \times Cp \times \Delta T$$

Equação 4.2 - Cálculo da entalpia.

Em que:

- * ΔH = Entalpia (kJ)
- * m = Massa (kg)
- * Cp = Capacidade calorífica (kJ/(kg.°C))
- * ΔT = Intervalo de Temperatura (°C)

O calor é fornecido ao sistema pela utilidade,

4. Metodologia

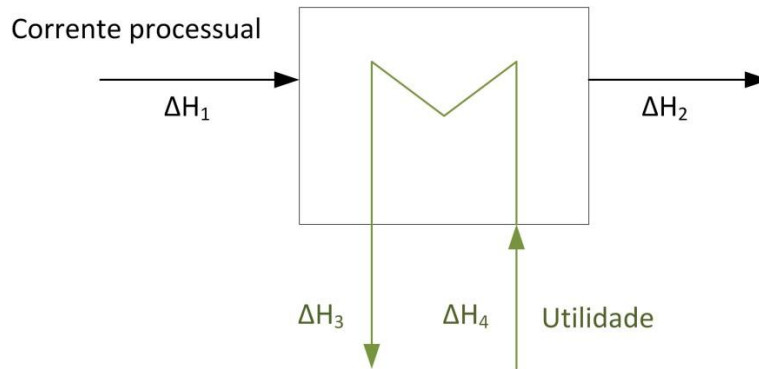


Figura 4.3 Representação gráfica do balanço a um equipamento geral com utilidade.

$$Q = \Delta H_4 - \Delta H_3$$

Equação 4.3 Calor fornecido pela utilidade.

Em que:

- × ΔH_3 = Entalpia da corrente de utilidade de saída (kJ)
- × ΔH_4 = Entalpia da corrente de utilidade de entrada (kJ)
- × Q = Calor fornecido ou removido pela utilidade (kJ)

Por fim a massa necessária de utilidade é calculada por:

$$m_{utilidade} = \frac{Q}{Cp_{utilidade} \times (T_{saída} - T_{entrada})}$$

Equação 4.4 - Cálculo da massa de utilidade necessária.

Em que:

- × $m_{utilidade}$ = Massa de utilidade (kg)
- × Q = Calor fornecido ou removido pela utilidade (kJ)
- × $Cp_{utilidade}$ = Capacidade calorífica de utilidade (kJ/(kg.°C))
- × T = Temperatura (°C)

Balanço energético com reação química

No caso da existência de reação química, como acontece nos reatores, é necessário adicionar outra parcela à equação, a entalpia de reação – energia libertada ou consumida necessária à reação. Assim, o cálculo é transformado em:

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2 + \Delta H_{reação}$$

Equação 4.5 - Equação do balanço energético com reação química.

Em que:

- × ΔH_1 = Entalpia da corrente processual de entrada (kJ)
- × ΔH_2 = Entalpia da corrente processual de saída (kJ)
- × Q = Calor fornecido ou removido (kJ)
- × $\Delta H_{reação}$ = Entalpia da reação (kJ)

Dessobreaquecimento do vapor

Em certos pontos do processo o vapor sofre laminagem e posteriormente dessobreaquecido. O dessobreaquecimento ocorre através da adição direta de DIW1 ao vapor, Figura 4.4, pelo que o seu consumo também deverá ser calculado. Posto isto, o balanço traduz-se em:

4. Metodologia

$$\Delta H_{vapor1} + \Delta H_{DIW1} = \Delta H_{vapor2}$$

Equação 4.6 Equação do balanço energético feito ao dessobreaquecimento de vapor.

Em que:

× ΔH = Entalpia (kJ)

$$m_{DIW1} = \frac{\Delta H_{vapor2} - \Delta H_{vapor1}}{Cp_{DIW1} \times (T_3 + T_2)}$$

Equação 4.7 Cálculo da massa necessária de água para dessobreaquecer o vapor.

Em que:

- × m = Massa (kg)
- × Cp = Capacidade calorífica (kJ/(kg.°C))
- × T_3 = Temperatura do vapor depois de ser dessobreaquecido (°C)
- × T_2 = Temperatura do vapor antes de ser dessobreaquecido (°C)

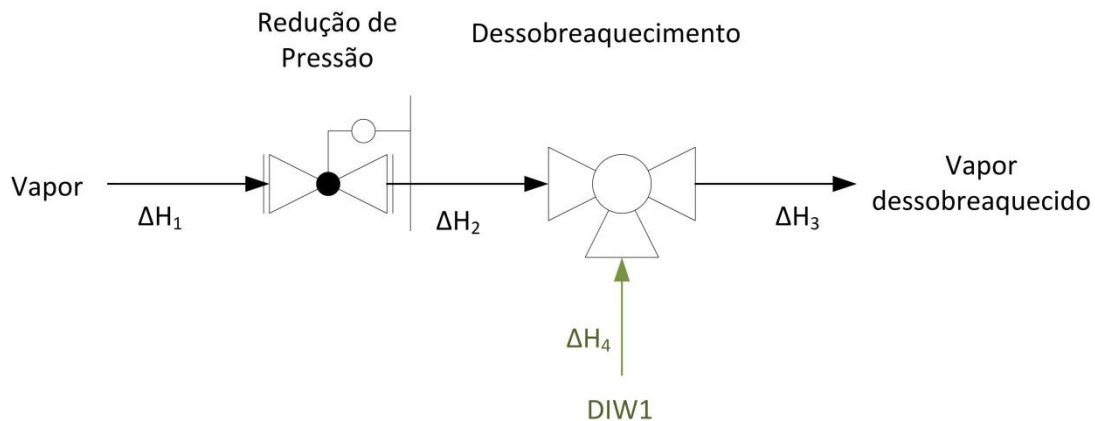


Figura 4.4 Representação gráfica da laminagem e dessobreaquecimento do vapor.

Recolha de dados

Os dados necessários à realização do balanço resumem-se a temperaturas, pressões, caudais, razões de caudais, composições de correntes e consumos específicos. Os dados referentes às áreas CP, DP, SR e UT foram recolhidos diretamente do sistema DCS. Deste foram recolhidos valores médios diários do período entre 01/04/2016 e 31/03/2017. O tratamento dos mesmos resumiu-se ao cálculo de médias, onde períodos de paragem foram excluídos calculando a média apenas com valores de períodos de operação em estado estacionário.

Os dados referentes à Área SP foram recolhidos de folhas de registo. Visto que tais registos não estão disponíveis em plataforma digital, apenas foram recolhidos valores do período de 01/03/2017 a 07/03/2017. No caso da área CB foram utilizados consumos específicos recolhidos do relatório mensal de consumos da Fisipe.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.1 ATUALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE NOVOS DIAGRAMAS DE REDE E P&IDs DAS UTILIDADES

No início do estágio, a Fisipe detinha os diagramas referentes às utilidades desatualizados e incompletos. Após a construção destes 18 novos diagramas a Fisipe passou assim a ter disponíveis ferramentas essenciais à gestão da fábrica, na medida em que poderão suportar a tomada de decisões.

De uma forma sucinta e descritiva, a Tabela 5.1 mostra os diagramas de rede e P&IDs construídos. Estes encontram-se nos Anexo II e Anexo III.

Tabela 5.1 Diagramas das Utilidades. Evolução: março 2017 – setembro 2017.

Utilidade	Março 2017		Setembro 2017	
	Diagrama de rede	P&ID	Diagrama de rede	P&ID
Água Industrial	✗	✓(1995)	✓	✓
Água de Refrigeração (TW)	✗	✗	✓	✓
Água de Refrigeração (TW-A)		✗		✓
Água de Refrigeração (TW-B)		✗		✓
Água Gelada	✗	✓(2014)	✓	✓
Água Desionizada (DIW1)	✗	✓(2009)	✓	✓
Água Desionizada (DIW2)	✗		✓	
Água Desionizada (DIW3)	✗		✓	
Vapor	✗	✓(1984)	✓	✓
Ar Comprimido	✓(2014)	✓(2014)	✓	✓
Azoto	✗	✓(1979)	✓	✓

Legenda: ✗- Não existe; ✓- Existe.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA CONTABILIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE UTILIDADES

No presente subcapítulo serão descritos os consumos de cada uma das utilidades dando foco aos principais consumidores de utilidade bem como a forma como estes são contabilizados.

Numa primeira fase, foi feita uma atualização da folha de cálculo de consumos de utilidades da Fisipe. Isto porque esta tinha em consideração muitos pressupostos empíricos, que por sua vez estavam desatualizados. Com a sua atualização foi possível ter uma visão mais real da distribuição dos consumos. Assim, o presente estudo teve apenas por base valores da distribuição de consumo referentes ao mês de maio de 2017, pois este já contemplava estas alterações.

De referir ainda que no mês de maio não houve produção de precursor de fibra de carbono, pelo que, consequentemente, as áreas referentes à sua produção não vão apresentar consumos. No entanto, aquando da sua produção, os seus consumos são normalmente inferiores a 5% do consumo de utilidade em questão. No caso da produção de P2, os consumos estão devidamente contabilizados visto que

5. Discussão dos Resultados Obtidos

praticamente todas as picagens de alimentação de utilidades para a produção de P2 estão providas de caudalímetros.

5.2.1 Água Industrial

O consumo médio total de Água Industrial é cerca de 140-160 ton/h em que o principal consumidor é a Área UT, representando mais de 90% do consumo total. Os principais consumidores são as unidades de produção de DIW1, DIW3, DIW2 e TW representando, respetivamente, 49%, 17%, 13% e 11% do consumo total de Água Industrial, Figura 5.1.

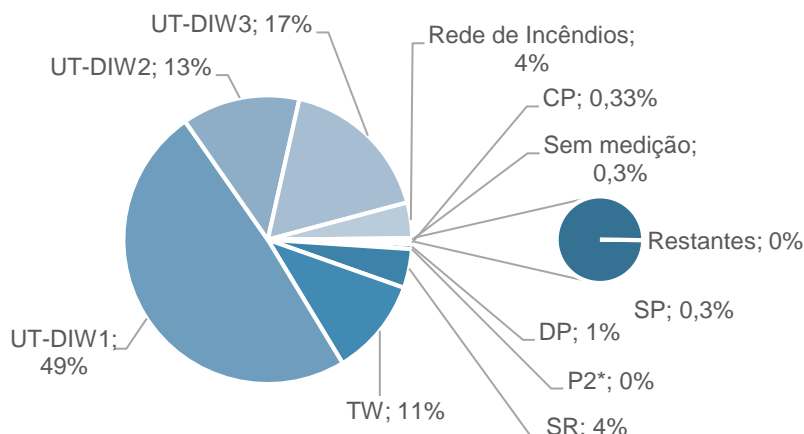


Figura 5.1 Distribuição percentual do consumo de Água Industrial pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. *Consumo acumulado das áreas CP2, DP2 e SP2.

Por norma, a contabilização dos consumos na Fisipe é feita tomando como certas as medições dos caudalímetros/contadores (quando os há) que medem o consumo total da utilidade e posteriormente as contagens de cada uma das áreas consumidoras são ajustadas a tal, isto para retificar as contagens de modo a que a soma das várias áreas seja igual ao totalizador.

As linhas de alimentação ao tanque de água Industrial provenientes dos furos estão ambas providas de caudalímetros, bem como a saída do tanque, sendo assim medido o consumo total de W.

No caso da contabilização do consumo de Água Industrial, a soma dos consumos dos furos 1 e 2 é tomada como certa e os restantes consumos são ajustados a tal. No entanto, o consumo medido pelo caudalímetro à saída do tanque (UT-FIQ-306) é superior, em média, cerca de 5-10 ton/h à soma dos caudais medidos nos caudalímetros dos furos 1 e 2 (UT-FIQ-304 e UT-FIQ-303), Figura 5.2. Tal deve-se ao facto de haver outra corrente a alimentar o tanque, o rejeitado da etapa de eletrodesionização da produção de DIW2. Esta situação foi apenas detetada após a contabilização dos consumos de maio, pelo que, para efeitos do presente estudo tal não foi considerado. Posteriormente, o cálculo de consumos foi regularizado tendo isto em conta.

O caudal consumido pelas áreas UT (TW), UT (DIW1 e 2), UT (DIW2), UT (DIW3), CP, CP2, DP e DP2 é contabilizado pela medição de caudal pelos caudalímetros/contadores respetivos, UT-FIQ-204, UT-FIQ-984, UT-FIQ-981, UT-FIQ-1000, CP-FQ-CP1, CP-FIQ-7374, DP-FQ-129 e DP-FIQ-7226.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Contudo, é de referir que, embora haja caudalímetros na alimentação de W às DIW1 e DIW2, os valores usados na contabilização dos consumos são os valores de consumo fornecidos pela GE. O valor de consumo de W para a produção de DIW3 é calculado através do valor consumo de DIW3 fornecido pela CCB. O cálculo do consumo de W é feito atribuindo um fator de conversão de W em DIW ($W = DIW \times 1,7$), sendo que o valor de consumo de DIW3 da CCB. Assim, os caudalímetros existentes servem essencialmente como forma de verificação de faturas.

O consumo das áreas UT (TW-A), CB e CP2, mesmo tendo pontos de medição de caudal, não é contabilizado, assumindo assim que estas áreas não usam Água Industrial. No caso do consumo de W pela Área SP, este é calculado através do consumo específico de água consumida por produção de fibra. A razão pela qual o contador SP-FQ-226 não ser usado na contabilização do consumo da Área SP é porque o contador se encontrar avariado e não produzir medições corretas.

No geral, a rede de distribuição de Água Industrial está aparentemente bem monitorizada pelo facto que mais de 90% do seu consumo é medido através de caudalímetros e contadores, restando pouco consumo por atribuir, ou seja, pouco consumo a ser estimado através de cálculo. No entanto, visto que existem áreas providas de pontos de medição que não são usados na contabilização, esta percentagem pode aumentar simplesmente pelo facto de adicionar estas medições. Ainda assim, existem vários pontos com carência de medição de caudal. Estes são UT (TW-B), UT (CW), TF (SR), OE, TF, Oficinas e CCB.

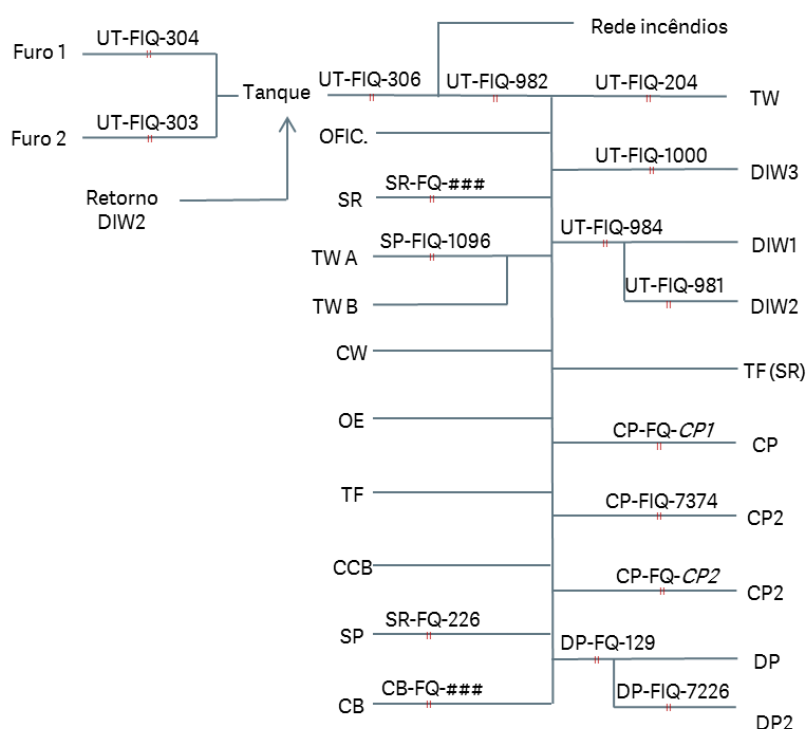


Figura 5.2 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Industrial pelas diferentes áreas consumidoras.

5.2.2 Água de Refrigeração

O sistema de Água de Refrigeração consiste em três circuitos independentes com a sua respetiva unidade de produção. A TW-A alimenta as áreas SP e DP2, a TW-B alimenta a Área CB e, por fim, a TW alimenta as restantes áreas, CP, SR, UT e a instalação piloto.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

- TW

A produção total de TW é cerca de 800-850 ton/h sendo que a Área UT é o maior consumidor representando cerca de 38% do consumo total seguido da Área SR com 32% e a Área CP representando 27%, Figura 5.3. No entanto, há que referir o facto da TW que é consumida na produção de Água Gelada na Área UT é reaproveitada pela Área SR, pelo que 37% dos 38% consumidos pela Área UT são também consumidos posteriormente pela Área SR.

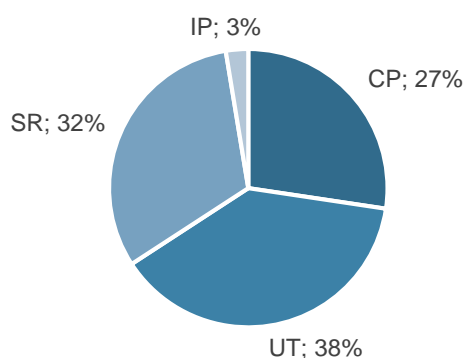


Figura 5.3 Distribuição percentual do consumo de Água de Refrigeração (TW) pelas diferentes áreas.

A linha de TW é distribuída pelas áreas CP, SR, UT e instalação piloto. Na picagem de alimentação da Área UT, esta divide-se em duas linhas, uma para a refrigeração dos compressores de produção de Ar Comprimido e outra para o sistema de refrigeração de Água Gelada. A água de retorno dos compressores é enviada diretamente para as torres, ao contrário da água de retorno das máquinas de Água Gelada que, por sofrer apenas um incremento de ± 3 °C, é ainda reaproveitada pela Área SR. A corrente proveniente das máquinas de Água Gelada é então adicionada à corrente de alimentação ao SR onde se junta com a corrente de TW fresca proveniente das torres. Assim, o caudalímetro SR-FIQ-186 à entrada da área contabiliza não só a TW fresca, mas também a TW de retorno das máquinas de Água Gelada, Figura 5.4.

O caudal consumido pelas áreas CP e CP2 é medido, respetivamente, pelos caudalímetros CP-FIQ-221 e CP-FIQ-7369 e o consumo da Área UT, para produção de Ar Comprimido e Água Gelada, é medido pelo caudalímetro UT-FIQ-135. Os valores de consumo de TW pela IP CARBOPAN são fornecidos pela própria IP no final de cada mês. Na contabilização do consumo é assumido que 95% do consumo da Área UT é para produção de Água Gelada que seguirá posteriormente para a Área SR.

Posto isto, o consumo de TW será “superior” à produção da mesma. Ou seja, a soma dos consumos de cada uma das áreas é superior ao consumo medido à saída das torres de refrigeração pelo caudalímetro UT-FIQ-810.

Em suma, o consumo médio total de TW é cerca de 1000-1200 ton/h sendo que a Área SR é o maior consumidor representando 50% do consumo total (TW fresca + retorno CW) seguido da Área UT com 28% (Água Gelada + Ar Comprimido) e a Área CP representando 20%.

Verifica-se também que 100% do consumo de TW é contabilizado segundo valores de medição.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

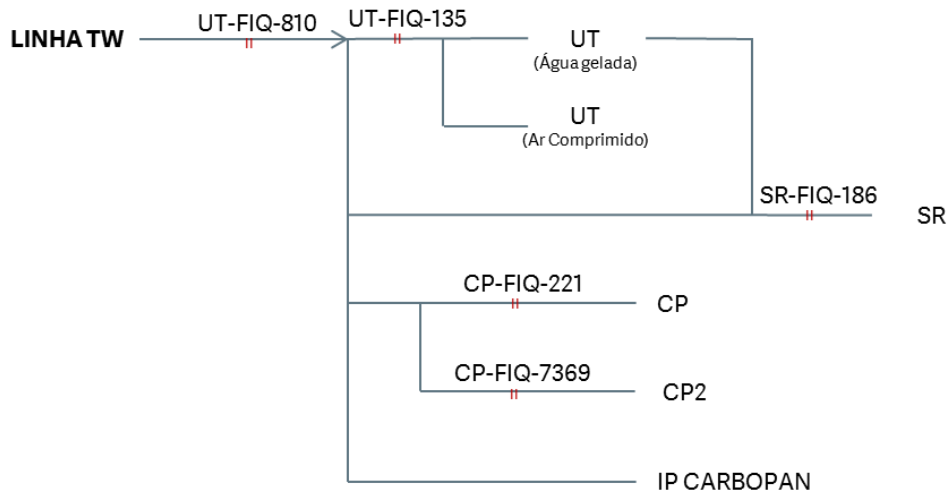


Figura 5.4 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração – TW pelas diferentes áreas consumidoras.

• TW-A

A TW-A tem um consumo médio de 170-190 ton/h. O consumo da Área SP representa praticamente a totalidade do consumo de TW-A, onde o consumo da Área DP2, quando o há, representa apenas uma percentagem residual do consumo total.

O consumo de TW-A é contabilizado a 100% por valores mensurados pelos caudalímetros à saída das torres de refrigeração (SP-FIQ-1095), medindo o consumo total, e à entrada da Área DP2 (DP-FIQ-7224), medindo o consumo da Área DP2, Figura 5.5.

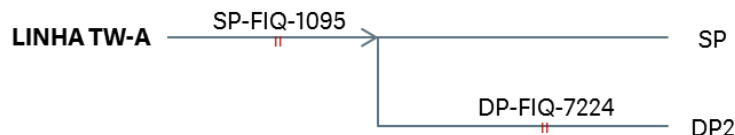


Figura 5.5 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração - TW-A.

• TW-B

O consumo médio de TW-B é cerca de 120-150 ton/h. O principal consumidor de TW-B é a Área CB, sendo que a Área SP também usufrui de TW-B aproveitando a água de retorno do CB. Esta é usada na exaustão dos gases quentes provenientes das cubas quentes das máquinas de *Spinning*. Resumindo, a picagem que alimenta o sistema de exaustão é feita na tubagem de retorno de TW-B vinda da Área CB.

A totalidade do consumo é medida pelo caudalímetro CB-FIQ-992 à entrada de água nas torres de refrigeração, Figura 5.6.



Figura 5.6 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água de Refrigeração - TW-B.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

5.2.3 Água Gelada

O consumo médio total de Água Gelada é cerca de 60-80 ton/h sendo que o seu maior consumidor é a Área CP representando perto de 70% do consumo total, Figura 5.7.

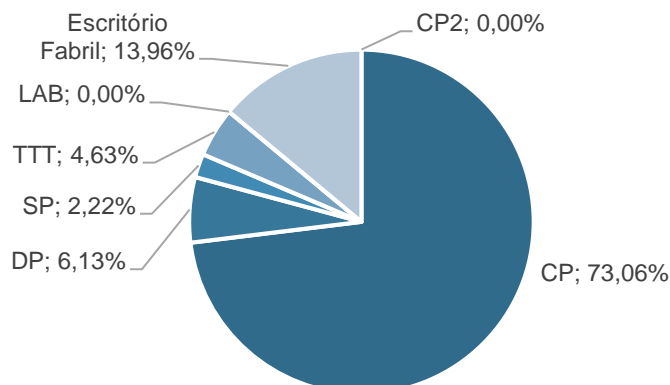


Figura 5.7 Distribuição percentual do consumo de Água Gelada pelas diferentes áreas.

A alimentação de Água Gelada à fábrica é efetuada por 4 linhas independentes, sendo estas: Linha 1 – Áreas CP e SR; Linha 2 – Áreas DP, SP, TT e LAB; Linha 3 – Escritório Fabril (ar condicionado); Linha 4 – Área SP2, Figura 5.8.

À saída da instalação de produção de Água Gelada as linhas 1, 2 e 3 são providas de caudalímetros, medindo assim o caudal total do consumo da linha respetiva. A linha 4 apenas tem caudalímetro na Área SP.

A linha 1 detém a maior parte do consumo representando cerca de 73%, em que a Área CP representa praticamente a totalidade deste, pois a Área SR apenas utiliza CW no 2º condensador das colunas de AC tendo assim um consumo residual quando comparado com o caudal consumido pela Área CP.

Na linha 2 os consumos de cada uma das áreas são medidos individualmente com caudalímetros/contadores à entrada das mesmas, excetuando o Laboratório, em que a contagem do consumo deste é fornecida pelo próprio Laboratório.

O contador presente à entrada da Área SP não se encontrava a marcar, pelo que, com o intuito de resolver esta situação, foi feito um pedido à manutenção para que este fosse verificado. Enquanto a situação não é resolvida, o seu consumo é calculado através do seu consumo específico por produção de fibra.

Em suma, esta utilidade encontra-se devidamente monitorizada com pontos de medida espalhados por todas as áreas consumidoras.

5.2.4 Água Desionizada

- **DIW1**

O consumo médio total de DIW1 é cerca de 50-70 ton/h sendo que o principal consumidor é a Área CP. Devido à pobre contabilização e monitorização dos consumos de DIW1 não é possível saber ao certo o consumo total da Área CP. Esta recebe DIW1 por 4 picagens distintas, sendo que apenas uma delas possui

5. Discussão dos Resultados Obtidos

um caudalímetro. No entanto, é perceptível que esta Área é o maior consumidor visto que apenas o consumo medido pelo caudalímetro CP-FIQ-217 representa 46% do consumo total de DIW1, Figura 5.9.

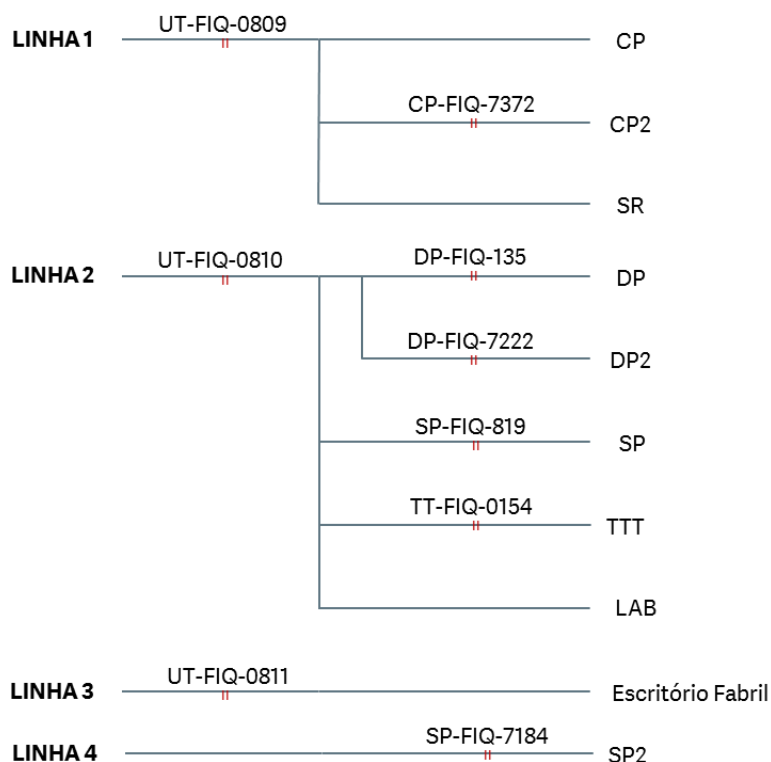


Figura 5.8 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Gelada pelas diferentes áreas consumidoras.

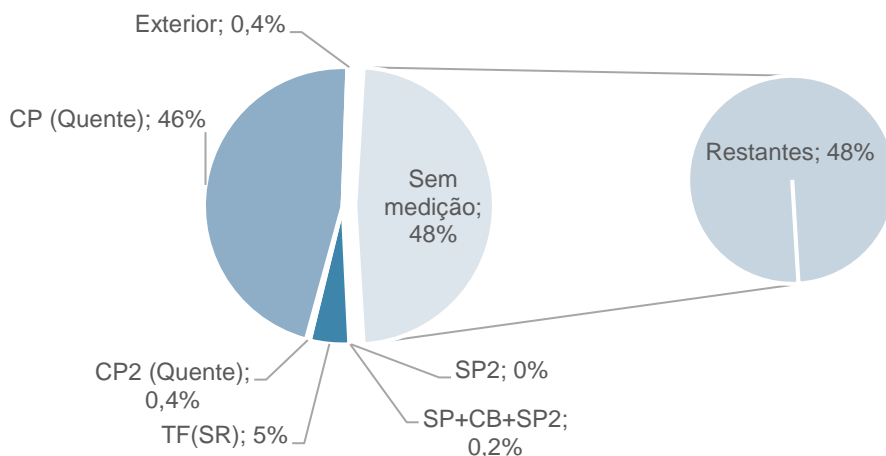


Figura 5.9 Distribuição percentual do consumo de Água Desionizada - DIW1 pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.

A rede de distribuição de DIW1 é caracterizada por se dividir em três linhas independentes imediatamente a seguir às bombas de abastecimento à fábrica, Figura 5.10. Uma das linhas abastece as áreas DP, SP e CB, outra abastece as áreas CP, SR, TF(SR), OE, TF e LAB e outra segue até à Área SP, no entanto esta linha está desativada visto que a Área SP trocou o uso de DIW1 por RW em certos pontos do processo.

A rede de DIW1 não tem nenhum caudalímetro/contador que meça o consumo total desta utilidade. Este é apenas contabilizado assumindo que a produção de DIW1 dada pela GE coincide com o consumo da fábrica. Com tal assunção, não é contado o armazenamento entre a unidade de produção e a distribuição da fábrica, o tornando impossível a monitorização do consumo instantâneo da fábrica. Com este esquema de monitorização, o envio de DIW1 para a CCB, quando o há, também não é contabilizado.

Existe ainda a possibilidade de alimentar DIW1 ao tanque de DIW2, isto quando a pureza da DIW1 o permite. Esta operação é feita realizando uma trasfega do tanque de DIW1 para o de DIW2 através de uma tubagem que liga os dois tanques. Visto que esta operação ocorre depois dos caudalímetros que medem a produção de DIW, esta trasfega não é contabilizada.

A Fisipe vende ainda regularmente DIW1 para o exterior, em que a trasfega é feita do tanque de DIW1 para um camião cisterna. Este caudal é medido e contabilizado.

O caudal consumido pelas áreas SP, SP2, DP2, TF(SR) (Tanques RW), CP (Quente) e CP2 (Quente) é medido, repetidamente, pelos caudalímetros SP-FIQ-194, SP-FIQ-7186, DP-FIQ-7232, TF-FIQ-103, CP-FIQ-217 e CP-FIQ-7337.

Em suma, com apenas 52% do consumo a ser mensurado, esta utilidade tem uma monitorização débil em que não se consegue perceber corretamente a distribuição do consumo. Tal poderá ser corrigido com a implementação de pontos de medição em alguns dos consumidores significativos que ainda não tenha medição de caudal. Na monitorização desta utilidade falta outro ponto importante, a medição da totalidade do consumo da mesma.

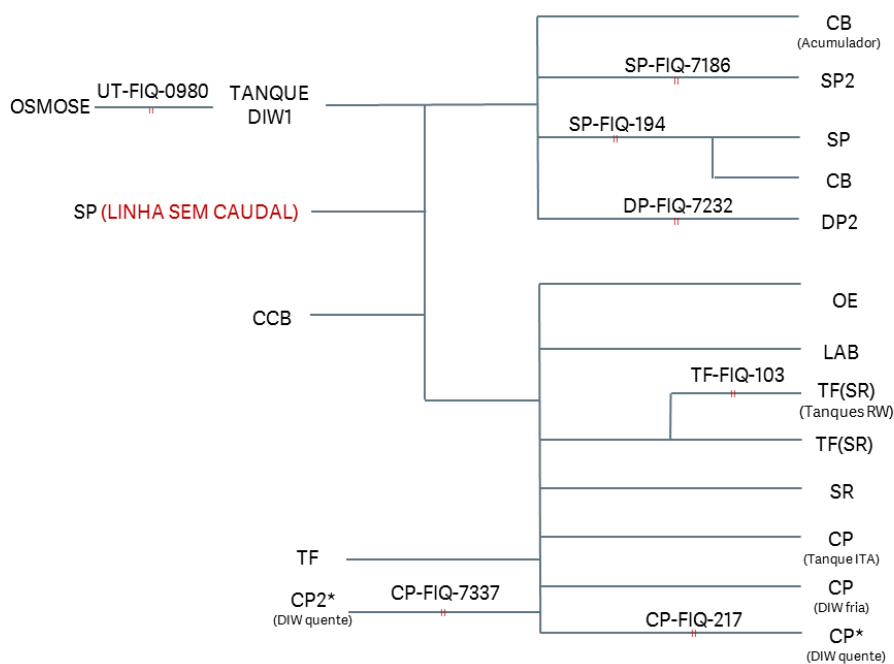


Figura 5.10 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW1 pelas diferentes áreas consumidoras.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

- **DIW2**

O consumo médio total de DIW2 é cerca de 10-15 ton/h. O único consumidor significativo desta utilidade é a Área CP, sendo que apenas o Laboratório e a IP também a consomem, representando uma ínfima parte do consumo total.

Tal como a DIW1, esta também não tem medição do caudal total consumido pela fábrica. Apenas tem um caudalímetro (UT-FIQ-0985) entre a unidade de produção e o tanque de armazenamento que mede a produção de DIW2. No entanto, a medição deste caudalímetro serve apenas para verificar os valores disponibilizados pela GE, pois o seu consumo é contabilizado com base nestes valores. A contabilização do consumo de DIW2 é feita assumindo que a produção de DIW2 é igual ao consumo total da fábrica.

A distribuição de DIW2 pela fábrica é efetuada por duas linhas independentes, Figura 5.11. Uma das linhas alimenta apenas a Área CP, onde esta será utilizada na preparação das misturas que irão ser alimentadas ao reator. A outra linha alimenta a Área CP, para a alimentação direta aos reatores, a IP e o laboratório. Por fim, a DIW2, se necessário, pode também ser enviada para a CCB.

Em ambas as linhas, à entrada da Área CP, existem pontos de medição de caudal, CP-FIQ-225 e FIQ-226. No entanto, estes contadores não se encontram a contar corretamente, ou por falta de calibração ou por avaria. Tal facto faz com que a contabilização do consumo não seja feita em condições. Esta é feita assumindo que toda a produção de DIW2 é consumida pela Área CP. Os consumos da Área CP relativamente à produção de polímero precursor são medidos pelos caudalímetros CP-FIQ-7103, CP-FIQ-7001 e CP-FIQ-7039.

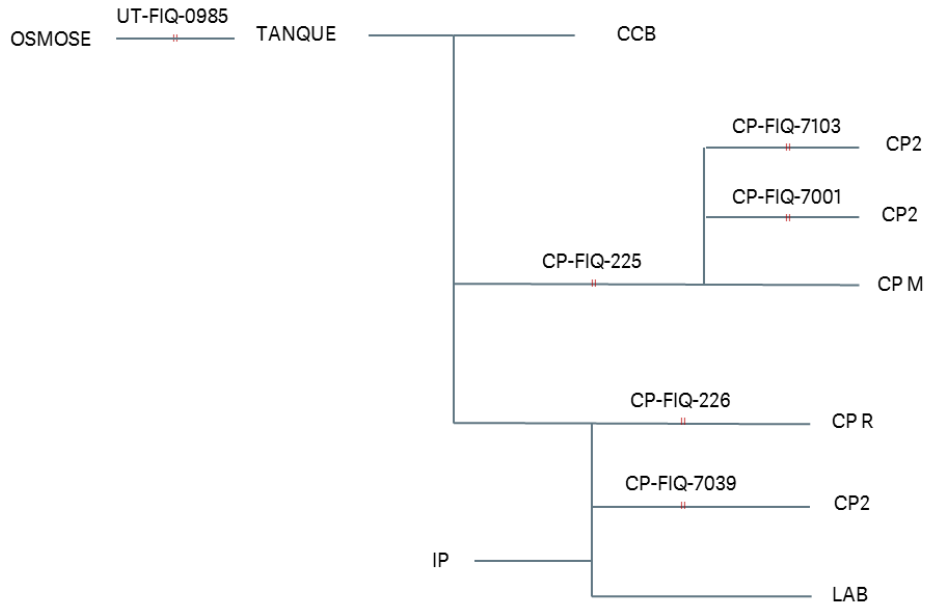


Figura 5.11 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW2 pelas diferentes áreas consumidoras.

- **DIW3**

O consumo médio de DIW3 é cerca de 10-30 ton/h sendo o seu único consumidor a CCB. Este consumo é medido pelo caudalímetro UT-FIQ-1001 que conta com a totalidade de água enviada à CCB sendo que as picagens de DIW1 e DIW2 estão antes deste caudalímetro, Figura 5.12.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Porém, a sua contabilização mensal é feita pelas medições efetuadas pela CCB, servindo assim este caudalímetro apenas para verificação de faturas.

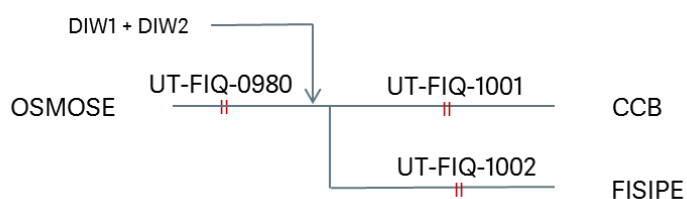


Figura 5.12 Esquema simplificado da rede de distribuição de Água Desionizada - DIW3 pelas diferentes áreas consumidoras.

5.2.5 Vapor

- Vapor 5S**

O consumo médio total de Vapor 5S é cerca de 15-30 ton/h, sendo que o maior consumidor deste vapor é a Área CP representando 67% do consumo total, Figura 5.13.

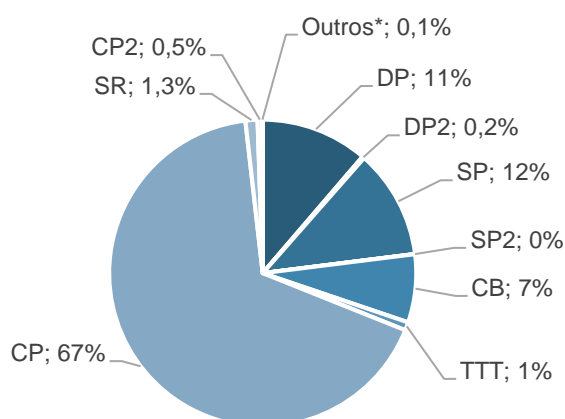


Figura 5.13 Distribuição percentual do consumo de Vapor 5S pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. *Soma dos consumos referentes ao Escritório Fabril, Laboratório, IP e Oficinas.

O Vapor 5S é distribuído pela fábrica por duas linhas principais vindas da CCB, sendo que a linha 1 alimenta as áreas DP, SP, CB e TT e a linha 2 alimenta as áreas CP e SR, alimentando também o Laboratório, a IP, as Oficinas e o Escritório Fabril, Figura 5.14. Ambas as linhas à saída da CCB têm caudalímetros que medem o caudal consumido pela fábrica em cada uma das linhas. Os consumos das diferentes áreas são medidos por caudalímetros à entrada das áreas respetivas. Na alimentação à Área SP (2º piso) existem duas picagens anteriores ao caudalímetro SP-FIQ-150, o que resulta na não medição do caudal consumido por estas picagens. Ainda assim, visto que, não só, o consumo das restantes áreas é mensurado, mas também o consumo total da linha, é assim possível por uma simples subtração contabilizar este consumo. É ainda de referir que o uso de Vapor 5S nas autoclaves foi descontinuado, pelo que a válvula na picagem de alimentação das mesmas se encontra fechada.

A contabilização do consumo de Vapor 5S é feita tomando como certo o consumo mensurado pelos caudalímetros totalizadores UT-FIQ-401 e UT-FIQ-404 e ajustando as contagens das restantes áreas a tal. No período em estudo ainda não tinha sido detetado que a Área SP consumia vapor sem este passar por

5. Discussão dos Resultados Obtidos

um ponto de medição, pelo que o consumo em falta foi distribuído por todas as áreas mantendo os seus pesos percentuais. Tal facto faz com que os consumos das diferentes áreas na linha 1 estejam um pouco inflacionados.

Por fim, pode-se concluir que a monitorização do consumo de vapor é bem conseguida visto que é baseada somente em valores mensurados.

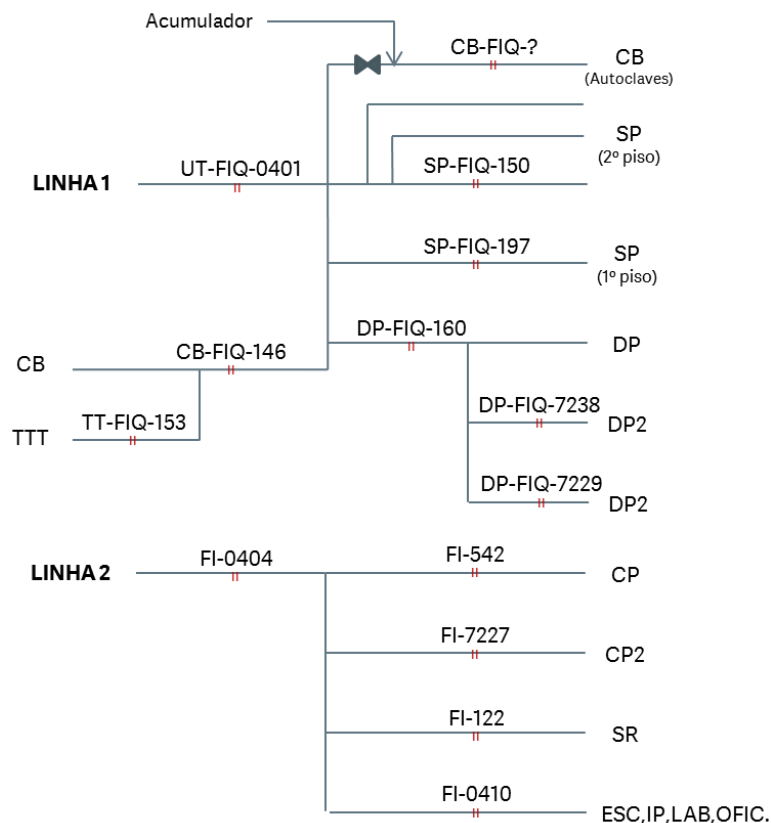


Figura 5.14 Esquema simplificado da rede de distribuição de Vapor 5S pelas diferentes áreas consumidoras.

- **Vapor 20S**

O consumo médio total de Vapor 20S é cerca de 20-35 ton/h em que os principais consumidores são as áreas SP e SR representando, respetivamente, 51% e 45% do consumo total, Figura 5.15.

O Vapor 20S é alimentado à fábrica através de uma única linha que se divide pelas áreas SR, SP e CB. Em cada uma das picagens de alimentação às áreas SR, SB e SP existem caudalímetros que medem o caudal consumido pela mesma. Estes são, respetivamente, SR-FIQ-2125, CB-FIQ-1014 e SP-FIQ-6354. Existe ainda um caudalímetro que mede a totalidade do caudal consumido de Vapor 20S à saída da tubagem principal da CCB, UT-FIQ-0407. Verifica-se que 100% do seu consumo é mensurado resultando assim numa monitorização eficaz, Figura 5.16.

5.2.6 Ar Comprimido

Na Fisipe são consumidos em média 1800-2100 m³/h de Ar Comprimido distribuídos por 3 linhas independentes, linha de Ar de Processo, Ar de Instrumentos e Ar Geral. O seu maior consumidor é a Área SP representando 47% do consumo total de Ar Comprimido.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Pelo facto de cada uma das linhas de distribuição ser tão complexa estas serão descritas individualmente.

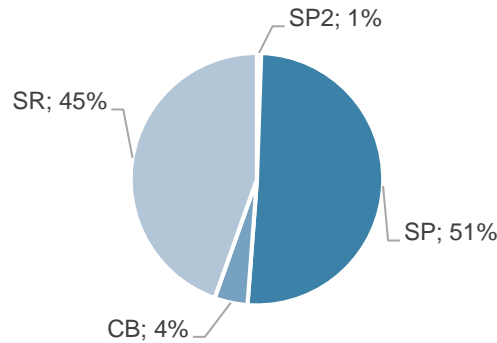


Figura 5.15 Distribuição percentual do consumo de Vapor 20S pelas diferentes áreas.

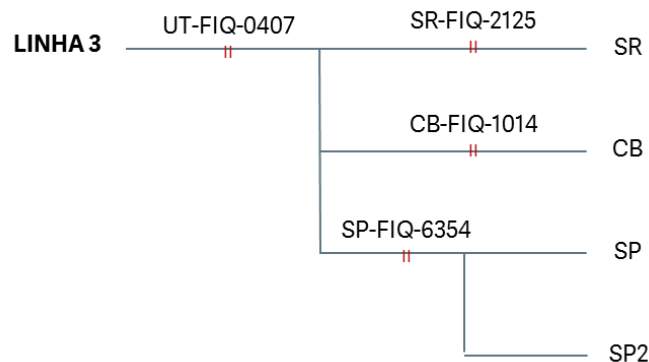


Figura 5.16 Esquema simplificado da rede de distribuição de Vapor 20S pelas diferentes áreas consumidoras.

- **Ar de Processo**

O consumo médio de Ar de Processo é cerca de 900-1100 m³/h, sendo que o seu maior consumidor é a Área SP com cerca de 62% do consumo total, seguido das Áreas CB e TT com 20% e 15%, respetivamente, Figura 5.17.

Imediatamente à saída da central de produção de Ar Comprimido, a linha é dividida em duas, uma segue para a Área OE e outra segue para a restante fábrica. Cada um destes troços é provido de um caudalímetro medindo assim o caudal consumido pela Área OE, pelo OE-FIQ-0003, e o consumo da rede, pelo UT-FIQ-108. Daí, o ar é distribuído pelas áreas DP, SP, SR, UT, CB e TT e para a CCB, Figura 5.18.

O consumo total de Ar de Processo é então contabilizado pela soma das medições dos caudalímetros OE-FIQ-0003 e UT-FIQ-108. Este valor é tomado como certo e o consumo das restantes áreas são ajustadas a tal.

Os consumos das áreas TT e SP2 são contabilizados pelas medições dos caudalímetros à entrada das respetivas áreas, TT-FIQ-155 e SP-FIQ-7841. O consumo da Área CB é contabilizado pela diferença entre o consumo medido pelo caudalímetro na picagem que alimenta as 3 áreas, CB-FIQ-160, e a soma dos consumos medidos pelos caudalímetros referentes às áreas TT e SP2, TT-FIQ-155 e SP-FIQ-7841. A Área DP não tem ponto de medição de caudal pelo que o seu consumo é contabilizado assumindo que o seu consumo é 2% do consumo total de Ar de Processo. O caudalímetro SP-FIQ-195 encontra-se a medir

5. Discussão dos Resultados Obtidos

erradamente pelo que não é usado. Assim, a contabilização do consumo referente à Área SP é feita assumindo que todo o consumo que falta atribuir é consumido pela Área SP. Ou seja, o consumo atribuído à área é o consumo total de Ar de Processo menos a soma do consumo das áreas OE, TT, CB, SP2 e DP. Por fim, os consumos das áreas SR e DP2 e da CCB não são considerados na contabilização do Ar de Processo.

Posto isto, verifica-se que apenas 36% do consumo de Ar de Processo é contabilizado através de medições de caudal, o que torna a monitorização deste ar muito fraca.

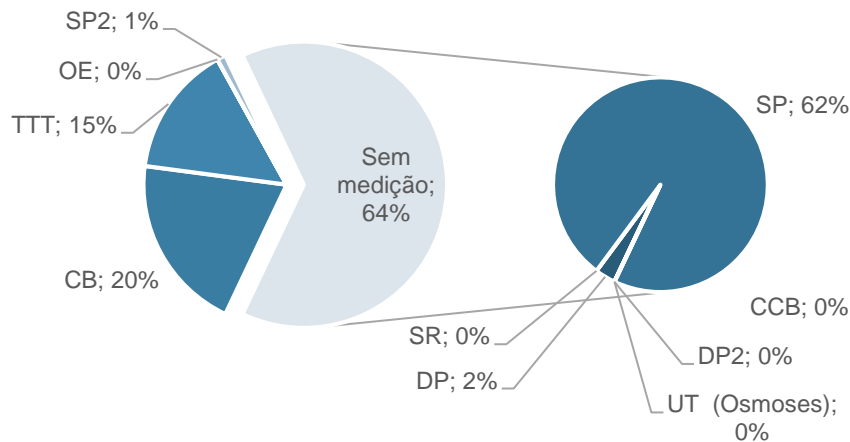


Figura 5.17 Distribuição percentual do consumo de Ar de Processo pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.

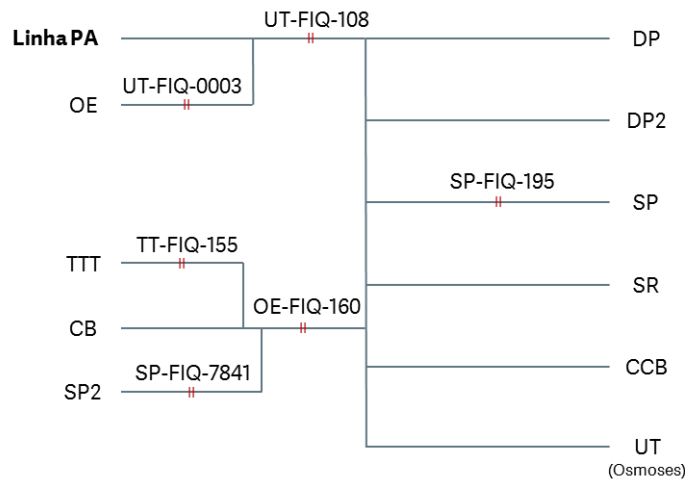


Figura 5.18 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar de Processo pelas diferentes áreas consumidoras.

- **Ar de Instrumentos**

O consumo de Ar de Instrumentos é em média cerca de 800-1000 m³/h, sendo que o seu maior consumidor é a Área SP com 33% do consumo total de Ar de Instrumentos. Seguem-se as áreas CP e CB ambas representando 19% do consumo total de IA, Figura 5.19.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

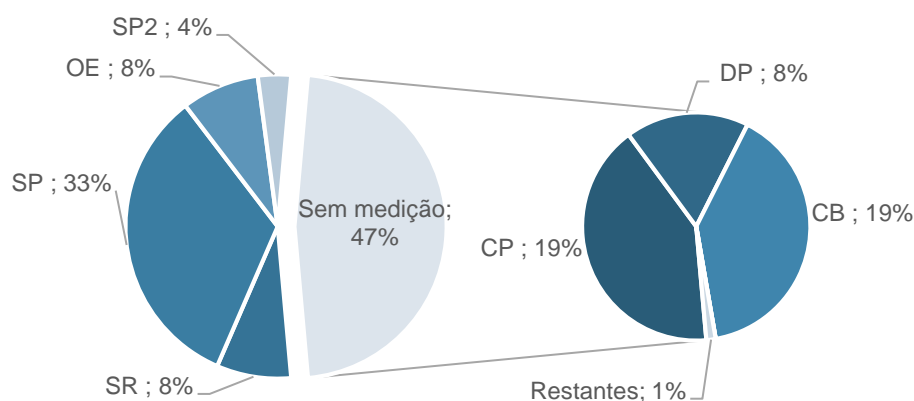


Figura 5.19 Distribuição percentual do consumo de Ar de Instrumentos pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.

Analogamente à linha de Ar de Processo, esta é também dividida à saída da central de produção. Assim, o caudalímetro OE-FIQ-0001 mede o caudal consumido pela Área OE e o caudalímetro UT-FIQ-110 mede o caudal consumido pela rede. O Ar de Instrumentos é então distribuído pelas áreas CP, CP2, PS, DP, DP2, SP, SP2, CB, SR, UT e TF e pela CCB, Oficinas, Laboratório e IP, Figura 5.20.

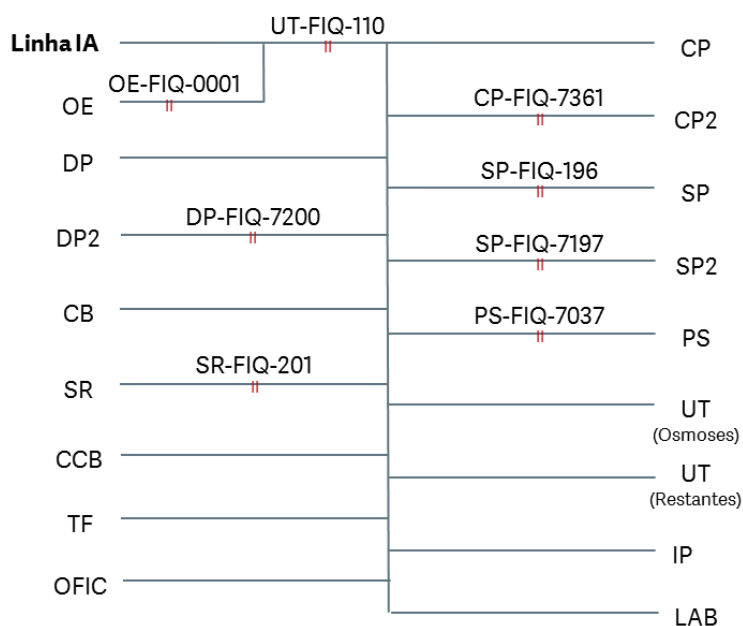


Figura 5.20 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar de Instrumentos pelas diferentes áreas consumidoras.

Tal qual como na contabilização do PA, o consumo total de Ar de Instrumentos é contabilizado pela soma das medições dos caudalímetros OE-FIQ-0001 e UT-FIQ-110, sendo que este valor é tomado como certo e o consumo das restantes áreas são igualmente ajustadas a tal.

O caudal consumido pelas áreas CP2, DP2, SP, SP2 e SR é medido pelos caudalímetros respetivos à entrada de cada uma das áreas. Estes são CP-FIQ-7361, DP-FIQ-7200, SP-FIQ-196, SP-FIQ-7197 e SR-FIQ-201. De notar que a Área SP2 tem consumo, cerca de 4% do consumo total de IA, mesmo sem produção. Tal pode dever-se a manutenção na SPM10 ou por alguma fuga na tubagem.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Embora a Área PS tenha um caudalímetro na picagem de alimentação à área, o consumo desta não é contabilizado. O restante consumo, ou seja, o consumo total menos o consumo das áreas CP2, DP2, SP, SP2, SR e OE, é contabilizado distribuindo-o pelas áreas CP, CB, DP e Oficinas assumindo que 41% é consumido pela Área CP, 40% pela Área CB, 18% pelo DP e 1% pelas Oficinas. O consumo das restantes áreas não é contabilizado, assumindo assim que estas não consomem Ar de Instrumentos.

Em suma, verifica-se que 43% do consumo total de Ar de Instrumentos é estimado contrastando com os 57% que são efetivamente medidos. Constatando assim a necessidade de melhoria da monitorização desta utilidade na medida que a percentagem de consumo medido deverá ser superior.

• Ar Geral

Por fim, o consumo médio total de Ar Geral, representando apenas uma pequena percentagem do consumo total de Ar Comprimido, ronda os valores de 40-60 m³/h. O maior consumidor de Ar Geral é a Área OE representando cerca de 58% do consumo total de Ar Geral, Figura 5.21.

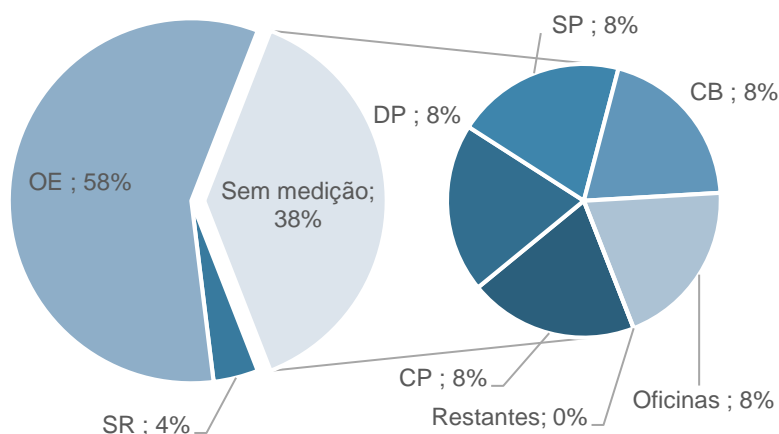


Figura 5.21 Distribuição percentual do consumo de Ar Geral pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado.

Tal qual como as linhas de Ar de Processo e Instrumentos, esta é igualmente dividida em duas, uma que alimenta a Área OE e outra que alimenta o resto da rede, Figura 5.22. As linhas são talqualmente providas de caudalímetros que medem o respetivo caudal consumido, OE-FIQ-0002 e UT-FIQ-107, em que a soma destes resulta no consumo total da utilidade. A rede de Ar Geral distribui-se então pelas áreas CP, CP2, PS, DP, DP2, SP, SP2, CB, SR, UT e TF e pelo Laboratório, IP e Oficinas. Os consumos das áreas CP2, SP2 e SR são contabilizados pela medição de caudal consumido pelos caudalímetros CP-FIQ-7359, SP-FIQ-7199 e SP-FIQ-7599 e SR-FIQ-202. O consumo por contabilizar é atribuído uniformemente pelas áreas CP, DP, SP e CB e Oficinas assumindo que os seus consumos são iguais entre eles. O consumo das restantes áreas não é mensurado nem estimado.

Posto isto, verifica-se que 62% do consumo de Ar Geral é mensurado enquanto os restantes 38% são estimados.

Condensando, em relação ao consumo global de Ar Comprimido, apenas 29% deste é contabilizado através de medições de caudal por caudalímetros.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

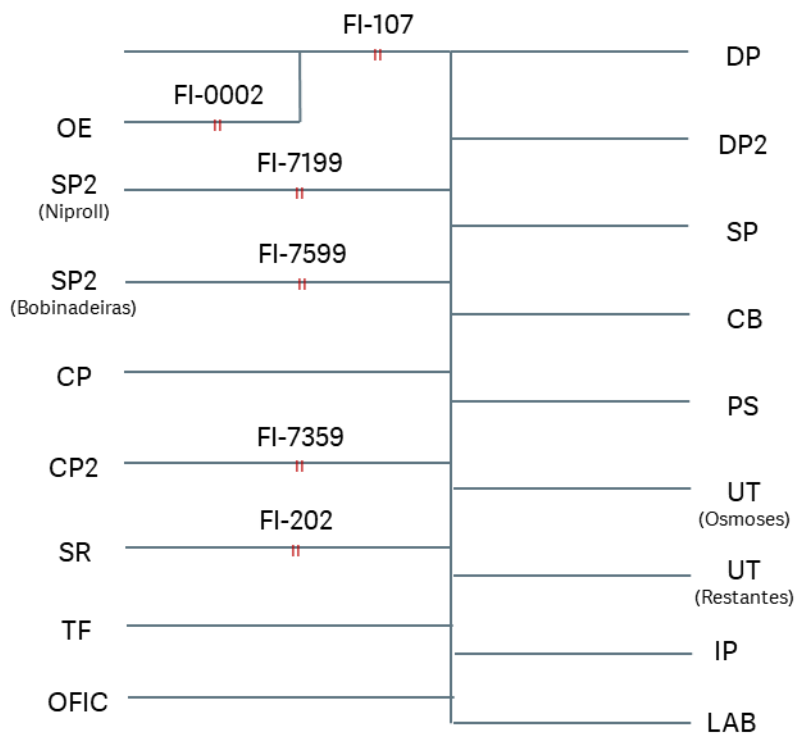


Figura 5.22 Esquema simplificado da rede de distribuição de Ar Geral pelas diferentes áreas consumidoras.

5.2.7 Azoto

- Azoto Industrial**

O consumo médio total de Azoto é cerca de 130-160 m³/h em que o maior consumidor é a Área TF com 67% do consumo total, Figura 5.23.

Esta utilidade embora tenha um caudalímetro que meça o caudal total consumido, o UT-FIQ-602, a contabilização do consumo total é feita consoante as descargas mensais de cisternas com Azoto.

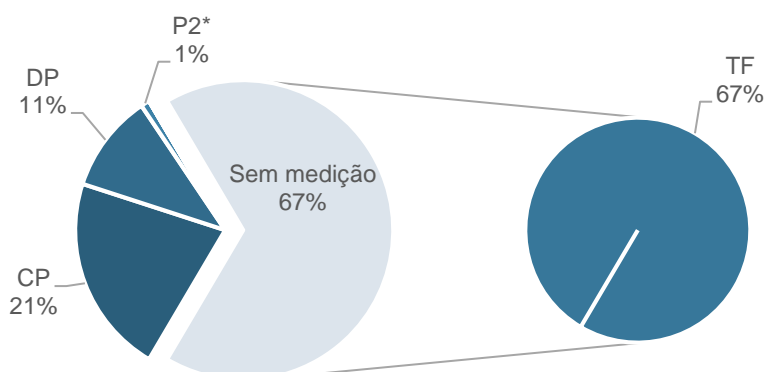


Figura 5.23 Distribuição percentual do consumo de Azoto Industrial pelas diferentes áreas com o consumo sem medição segregado. * Consumo acumulado das áreas CP2 e DP2.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

O Azoto é então distribuído pelas áreas CP, CP2, PS, PS2, DP, DP2, SR, UT e, TF e ainda pela IP-CARBOPAN, IP e Tanquipor, Figura 5.24. Os consumos das áreas CP, CP2, DP e DP2 são contabilizados pelo caudal medido, respetivamente, pelos caudalímetros CP-FIQ-223, CP-FIQ-7366, DP-FIQ-131 e DP-FIQ-132, e DP-FIQ-7242 e DP-FIQ-7215. A Área PS tem um caudalímetro na picagem de alimentação à área, no entanto, a medição deste não é usada na contabilização do consumo desta utilidade. Por fim, embora a Área TF tenha um caudalímetro que meça o caudal consumido pela área, TF-FIQ-169, o consumo desta área é contabilizado assumindo que todo o consumo de azoto por atribuir é consumido pela Área TF. De referir ainda que a picagem que alimenta a Tanquipor se encontra depois do caudalímetro TF-FIQ-169, pelo que este mede o caudal consumido pela Tanquipor e pela Área TF. O consumo das restantes áreas não é contabilizado.

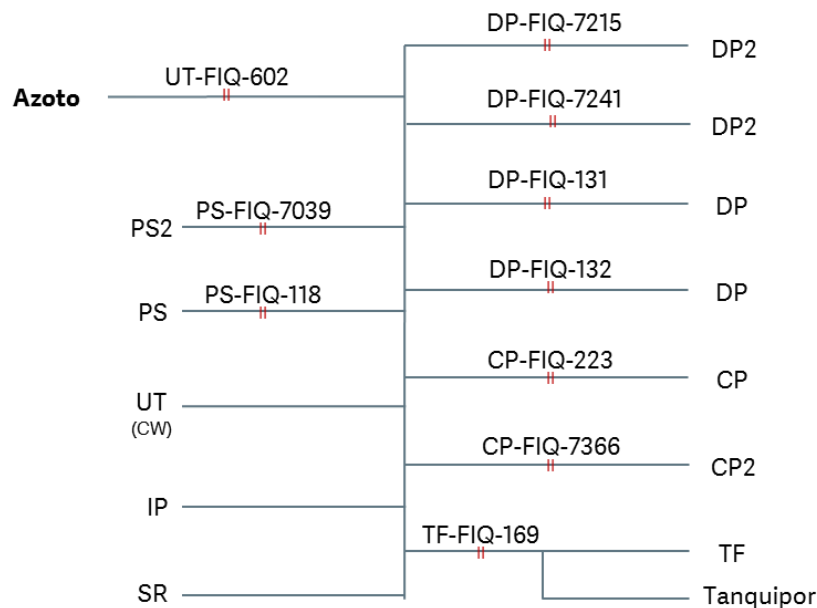


Figura 5.24 Esquema simplificado da rede de distribuição de Azoto Industrial pelas diferentes áreas consumidoras.

Assim, 33% do consumo é contabilizado pela medição de caudal. Porém esta percentagem poderá aumentar facilmente se a medição do caudalímetro TF-FIQ-169 for usada na contabilização do consumo de Azoto Industrial.

- **Azoto de Alta Pureza**

O consumo médio de Azoto de Alta Pureza ronda os 70-90 m³/h. Este, como referido em 173.1.6 é apenas consumido pela IP CARBOPAN, Figura 5.25. O consumo desta utilidade é contabilizado consoante as descargas dos camiões cisterna que alimentam o tanque de armazenagem.



Figura 5.25 Esquema simplificado da rede de distribuição de Azoto de Alta Pureza.

5.3 PROPOSTAS DE MELHORIA DA MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE CONSUMOS DE UTILIDADES

5.3.1 Identificação dos pontos críticos com necessidade de medição de caudal

Dos 49 pontos sem medição encontrados, Anexo IV, foi feita uma seleção dos locais mais pertinentes a implementar novos caudalímetros numa primeira fase de implementação durante a paragem geral da fábrica na primeira semana de agosto de 2017.

Para a comparação entre utilidades, o volume de consumo não mensurado foi reduzido a uma única unidade, neste caso, o custo associado à produção das utilidades. Foi assim calculado o custo associado ao volume de consumo não mensurado. O cálculo teve em conta os preços das Utilidades expostos na Tabela 5.2.

Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 5.3. Para o cálculo do custo anual associado ao consumo de utilidades foi considerado 340 dias de laboração contínua.

Tabela 5.2 Preços das Utilidades 2017

Utilidade	Unidade	Custo unitário (€/un)
Água Industrial	ton	0,110
Água de Refrigeração	ton	0,039
Água Gelada	ton	0,277
Água Desionizada DIW1	ton	0,713
Água Desionizada DIW2	ton	0,667
Água Desionizada DIW3	ton	0,765
Vapor 5S	ton	18,069
Vapor 20S	ton	18,028
Ar Comprimido	m3	0,009
Azoto	m3	0,233

Tabela 5.3 Custo associado ao consumo de Utilidades.

Utilidades	Custo anual associado ao consumo total	Custo anual associado ao consumo sem medição
Azoto	319 883 €	214 196 €
Água Desionizada DIW1	351 403 €	175 845 €
Ar Comprimido	139 426 €	99 087 €
Água Desionizada DIW2	70 985 €	22 733 €
Água Industrial	142 487 €	451 €
Água de Refrigeração TW	261 387 €	0 €
Água de Refrigeração TW-A	57 781 €	0 €
Água de Refrigeração TW-B	39 729 €	0 €
Água Gelada	152 634 €	0 €
Água Desionizada DIW3	96 446 €	0 €
Vapor 5S	2 318 736 €	0 €
Vapor 20S	3 903 784 €	0 €
Total	7 854 681 €	512 313 €

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Analisando os custos associados verifica-se que o valor mais significativo é o referente ao consumo sem medição do Azoto, seguido da Água Desionizada DIW1, Ar Comprimido e por fim, Água Desionizada DIW2. Consequentemente serão estas as utilidades em que se deve apostar na melhoria da monitorização dos seus consumos através da implementação de novos pontos de medição de caudal.

Azoto

Em relação ao valor de consumo sem medição de Azoto, este resulta da não utilização do caudalímetro que mede o caudal consumido pela Área TF. Esta usa o Azoto para inertizar os tanques de armazenamento, fazendo desta o principal consumidor de Azoto. Assim, este volume de consumo que não é contabilizado através de medições pode ser fortemente reduzido ao começar a utilizar as medições do caudalímetro TF-FIQ-169 na contabilização do consumo de Azoto. Ainda assim a Área SR poderá ser um ponto de interesse pois, das principais áreas de produção, esta é a única que não tem um ponto de medição de IG. Posto isto é aqui proposto que seja implementado um caudalímetro à entrada da Área SR.

Água Desionizada DIW1

Analisando a distribuição do consumo de DIW1, Figura 5.10, é possível prever que as linhas consumidoras, que não têm ponto de medição de caudal, mais significativas serão a picagem de alimentação para CP (DIW Fria) e para a Área SR.

Visto que a Área OE funciona, em parte, como uma identidade externa, as utilidades são-lhes cobradas. Por esse motivo será também relevante a instalação de um caudalímetro à entrada da Área OE de modo a monitorizar os consumos feitos por esta.

No Laboratório a DIW1 é muito usada para lavagem de material. Com o intuito de cobrar os gastos de DIW1 ao Laboratório e sensibilizar o pessoal a utilizar a DIW1 de uma forma mais consciente, foi também proposta a implementação de um caudalímetro à entrada do mesmo.

Ainda na contabilização do consumo de DIW1, será também relevante a medição da totalidade do caudal consumido pela fábrica. No entanto, a rede de DIW1 encontra-se dividida por três linhas principais sendo que esta divisão começa exatamente à saída das bombas. Posto isto, não será possível medir o consumo total num único ponto sem ter de alterar a estrutura da tubagem. A implementação de um medidor de caudal que meça o consumo total de DIW1 será inserida noutro plano de trabalho de alteração da instalação de DIW1. Este será falado mais detalhadamente no Capítulo 5.3.2.

Ar Comprimido

Em relação à Utilidade do Ar Comprimido, esta tem também uma rede de distribuição dividida, sendo esta composta por 3 linhas principais. De modo restringir a área de estudo, a linha de Ar Geral foi excluída, pois representa apenas 2% do consumo total de Ar Comprimido.

No caso da linha de Ar de Processo é claro por onde é que o esforço deverá ser direcionado. Visto que o caudalímetro que mede o caudal consumido por um dos consumidores mais significativos, a Área SP, não está a funcionar, este deverá ser substituído. Assim é proposto uma substituição do caudalímetro existente por um novo.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Analisando a distribuição da linha de Ar de Instrumentos, verifica-se que as áreas sem medição, com consumo estimado mais significativo, são as áreas CP e CB. Assim, foi proposta a implementação de novos caudalímetros nas picagens que alimentam estas áreas.

Água Desionizada DIW2

A respeito da distribuição de consumo de DIW2 a grande falha ao nível da sua monitorização é a carência de medição do caudal total consumido pela fábrica. Analogamente à rede de DIW1, esta também se encontra dividida por duas linhas principais estando também divididas desde a saída das bombas. Vista a impossibilidade de medição da totalidade de caudal consumido, optou-se assim pela proposta de instalação de um caudalímetro à saída da Área UT na linha onde recai o principal consumidor, a linha que alimenta os reatores da Área CP e CP2, o Laboratório e a IP. O consumo da outra linha é um consumo mais controlado pois esta segue para a preparação das misturas, onde a DIW2 é utilizada segundo receitas rigorosas.

Foi também proposta a implementação de um caudalímetro na tubagem de alimentação ao Laboratório pelos mesmos motivos indicados para a implementação do caudalímetro de DIW1 para o Laboratório.

Resumindo, para uma primeira fase de implementação de novos pontos de medição, foi proposta a instalação de 10 caudalímetros, compilados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Locais propostos para uma 1ª fase de implementação

Fase	Utilidade	Área
1ª	DIW1	CP
1ª	DIW1	OE
1ª	DIW1	SR
1ª	DIW1	LAB
1ª	DIW2	UT
1ª	DIW2	LAB
1ª	IA	CB
1ª	IA	CP
1ª	PA	SP
1ª	IG	SR

De modo a retificar os consumos estimados, foram feitas medições de caudal com um medidor de caudal portátil clamp-on FLUXUS F601 a cargo da empresa contratada Loop Projecto e Comércio Internacional, Lda. Porém, apenas foi possível mensurar os caudais dos fluidos líquidos, pois este aparelho não consegue realizar medições de fluidos gasosos. Assim, não foi possível atribuir com 100% de certeza uma gama de caudal para os caudalímetros de Ar Comprimido e Azoto.

Ainda assim, com os dados adquiridos e com as estimativas de consumo de utilidade relativas às várias áreas, é previsto que com a implementação destes caudalímetros, o custo associado ao consumo sem medição seja reduzido em cerca de 76%, representando cerca de 390 mil € anuais.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

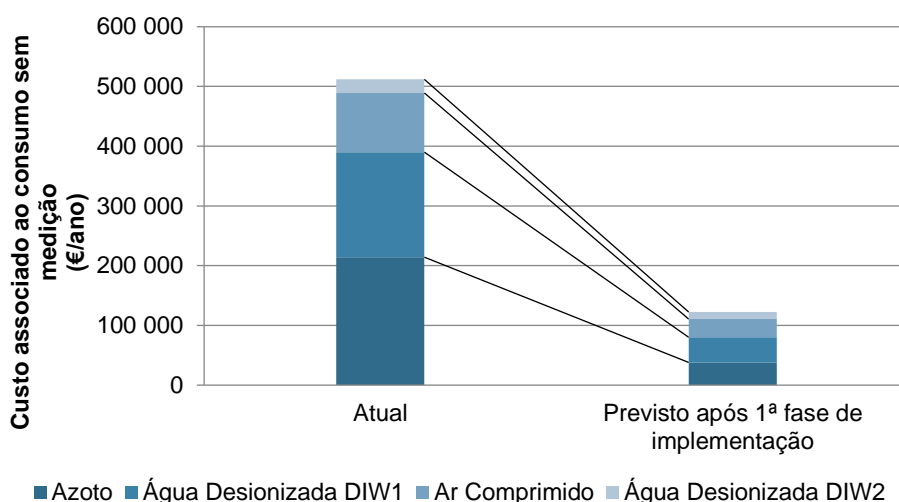


Figura 5.26 Previsão da evolução do consumo associado ao consumo de utilidade sem medição.

Foi então feito um pedido de investimento de 27.500€, já com o custo dos equipamentos e custo da instalação incluídos.

O investimento para a implementação destes 10 caudalímetros foi então aceite e estes foram efetivamente instalados durante a paragem geral. A escolha dos caudalímetros a instalar recaiu sobre a manutenção de instrumentos. Os responsáveis estudaram 3 propostas de fornecedores diferentes e foram escolhidos os caudalímetros listados na Tabela 5.5. A escolha dos caudalímetros recaiu sobre o tipo vortex para a maior parte dos locais, pois estes são um tipo de caudalímetro com precisão de 1 % em toda a escala, com boa amplitude de caudal mínimo e máximo (1:10) tendo um custo médio/baixo relativamente aos outros tipos. Estes podem ainda ser aplicados a fluidos líquidos e gasosos. Por estes serem insensíveis a caudais baixos, para a medição de consumos das DIW1 e 2 foi escolhido caudalímetros do tipo placa de orifício, pois é uma solução simples e económica para medição de baixos caudais. Estes têm uma precisão de 1 – 2 % em toda a escala [14].

Os caudalímetros instalados estão descritos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Caudalímetros instalados na primeira fase de implementação.

Utilidade	Área	Caudalímetro
DIW1	CP	Rosemount Vortex 8600
DIW1	OE	Rosemount Vortex 8600
DIW1	SR	Rosemount Vortex 8600
DIW1	LAB	Rosemount 2051CFC Compact Orifice
DIW2	UT	Rosemount Vortex 8600
DIW2	LAB	Rosemount 2051CFC Compact Orifice
IA	CB	Rosemount Vortex 8600
IA	CP	Rosemount Vortex 8600
PA	SP	Rosemount Vortex 8600
IG	SR	Rosemount Vortex 8600

A continuidade deste trabalho passará pela ligação destes ao DCS e pela verificação e afinação do *range* de caudal dos vários caudalímetros. Após a conclusão do trabalho, as medições resultantes poderão começar a ser usadas na contabilização dos consumos das Utilidades.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Após a finalização desta primeira fase de implementação de caudalímetros poder-se-á prosseguir para uma segunda fase. Nesta deverá ser feito um estudo semelhante ao realizado para a primeira fase, onde se procura quais os próximos consumidores significativos sem medição de caudal. No entanto, é aqui proposto que na próxima fase seja incluída a instalação dos seguintes pontos de medição:

- DIW1, Área CB (Acumulador): com a monitorização deste consumo poder-se-á controlar de melhor forma a eficiência do acumulador, isto é, poderá assim resultar num uso mais eficiente de Vapor neste equipamento que, por sua vez, é a utilidade mais cara que a Fisipe consome.
- DIW1, Área TF (SR) (Lavagem Colunas): embora este seja um consumo esporádico, será interessante perceber o impacto no consumo de DIW1 durante a lavagem das colunas da Área SR.
- IG, Área UT (CW): O Azoto é aqui utilizado no tanque de água de make-up à Água Gelada tornando-o um ponto de consumo de interesse.
- IA e PA, CCB: A medição de caudal consumido de Ar de Instrumentos e Ar de Processo pela CCB será interessante na medida em que se poderá cobrar com certezas este gasto à central.

*Lista sem ordem específica de importância.

5.3.2 Outras Propostas

- **Rotina de verificação de purgadores de Vapor**

O custo associado ao consumo de Vapor na Fisipe representa cerca de 80% do capital gasto na totalidade das Utilidades. Isto torna de especial interesse a eficiência da monitorização dos seus consumos, pois, por mais pequena que seja a poupança de caudal, esta representa uma fração significativa quando comparada com o capital despendido no consumo da totalidade das Utilidades. Por este motivo, é aqui proposta a implementação de uma rotina de verificação dos purgadores de vapor. Foi criada assim uma lista dos purgadores a verificar e onde um operador deverá apontar o estado dos vários purgadores. A função do purgador é a eliminação do condensado acumulado ao longo das tubagens, no entanto, é bastante comum que estes falhem, permitindo assim o escoamento de vapor vivo. Com a verificação regular do seu funcionamento torna possível a identificação de alguma falha nos vários purgadores. A correção atempada destes purgadores danificados poderá representar para a Fisipe uma poupança de milhares de euros, tal como referido num exemplo no Capítulo 2.2.

- **Nova instalação de DIW1**

Tendo sido já descrita, a configuração da tubagem de DIW1 caracteriza-se por estar dividida em três linhas principais independentes, sendo a divisão feita imediatamente a seguir às bombas de alimentação à fábrica. Isto porque, inicialmente este sistema foi feito para que cada uma das três bombas existentes bombeasse a sua linha respetiva. Atualmente, tal já não se justifica pois, através de ligações entre linhas, cada uma das bombas pode bombear DIW1 para toda a rede.

As bombas acima referidas são três bombas centrífugas em que duas são iguais e de menor capacidade quando comparadas com a terceira bomba mais recente e de capacidade superior. Face ao cenário atual de consumo de DIW1, a terceira bomba faz jus à sua função trabalhando sozinha. No entanto, as outras duas bombas mais pequenas, mesmo funcionando em simultâneo, não conseguem debitar a pressão

5. Discussão dos Resultados Obtidos

requerida na linha. Posto isto, de forma a ter uma redundância nas bombas de alimentação à fábrica caso ocorra alguma avaria numa das bombas, torna-se necessário a substituição destas duas bombas mais pequenas por uma igual à bomba mais recente.

Enquadrado neste trabalho de substituição de bombas, está também a instalação de variador de frequência nas bombas, por forma a poupar energia tornando a utilização das mesmas mais eficiente. O variador será assim controlado consoante a pressão na linha. Sendo que uma medição de pressão num ponto único é necessária, uma modificação na tubagem é requerida. Esta alteração consistirá na instalação de um coletor único para onde a totalidade do caudal será bombado. Deste coletor serão feitas as picagens para as diferentes linhas de alimentação à fábrica.

Será neste ponto onde a implementação do medidor de caudal total de DIW1 é inserida. É então neste coletor onde serão instalados o medidor de pressão e caudal.

Para a implementação desta alteração foi necessário construir uma engenharia básica para que uma proposta pudesse ser feita. Uma engenharia básica consiste num documento onde é contemplado a descrição do problema e da proposta de resolução, são também contemplados os impactos ambientais, uma análise de riscos e acidentes e a especificação técnica dos equipamentos a serem instalados. Por fim, o projeto é apresentado e enviado para aprovação onde o investimento é ou não disponibilizado.

5.4 ESTIMATIVA DOS CONSUMOS DE UTILIDADES

No balanço teórico, foram consideradas as operações unitárias enumeradas nas tabelas de Tabela 5.6 a Tabela 5.11. Cada uma destas corresponde, respetivamente, às áreas CP, DP, SP, CB, SR e UT e nestas estão discriminadas as operações consumidoras por utilidade. Nas áreas CP, DP e SP os consumidores estão separados entre produção de fibra têxtil (L3) e precursor de fibra de carbono (P2).

De referir ainda que a previsão de consumo de Ar Comprimido foi calculada para todas as áreas através de consumos específicos.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Área CP

Tabela 5.6 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área CP.

Utilidades	Produção L3	Produção P2
Água de Refrigeração TW	<ol style="list-style-type: none"> 1. Make-up para a camisa de arrefecimento dos reatores 2. Condensador da Coluna SS 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Make-up para a camisa de arrefecimento dos reatores 2. Condensador da Coluna SS
Água Gelada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento do make-up de TW 2. Arrefecimento da DIW2 aos reatores 3. Arrefecimento da solução de monómeros 4. Arrefecimento da DIW1 aos <i>Scrubbers</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento do make-up de TW 2. Arrefecimento da DIW2 aos reatores 3. Arrefecimento de AN 4. Arrefecimento da DIW1 aos <i>Scrubbers</i>
Água Desionizada DIW1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adição ao <i>Direct Slurry Feed</i> 2. Chuveiros da Coluna SS 3. Água de lavagem do filtro rotativo 4. Água aos <i>Scrubbers</i> 5. Lavagem de tubagem 6. Bombas de vácuo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adição ao <i>Direct Slurry Feed</i> 2. Chuveiros da Coluna SS 3. Água de lavagem do filtro rotativo 4. Água aos <i>Scrubbers</i> ITA 5. Bombas de vácuo 6. Dessobreaquecimento do Vapor 5S ao secador 7. Dessobreaquecimento do Vapor 5S para aquecimento da DIW1
Água Desionizada DIW2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparação das soluções de alimentação aos reatores 2. Adição aos reatores 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparação das soluções de alimentação aos reatores 2. Adição aos reatores
Vapor 5S	<ol style="list-style-type: none"> 1. Injeção na Coluna MS (L3 + P2) 2. Injeção na Coluna SS 3. Secador 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Injeção na Coluna MS (L3 + P2) 2. Injeção na Coluna SS 3. Secador 4. Aquecimento de DIW1

Área DP

Tabela 5.7 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área DP.

Utilidades	Produção L3	Produção P2
Água de Refrigeração TW	-	1. Arrefecimento do xarope
Água Gelada	1. Arrefecimento do CR	1. Arrefecimento do CR
Vapor 5S	1. Aquecimento da suspensão de polímero	1. Aquecimento da suspensão de polímero

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Área SP

Na elaboração do balanço à Área SP não foram consideradas as diferenças entre SPM's de produção têxtil nem as diferenças de condições de operação dos vários tipos de fibra. Para facilidade de cálculo foi assumido que o processo de produção é igual em qualquer máquina. Foram usadas médias aritméticas das várias condições necessárias para a realização do cálculo.

Tabela 5.8 Descriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área SP.

Utilidades	Produção L3	Produção P2
Água de Refrigeração TW-A	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento da mistura de solvente 55CR 2. Arrefecimento da DIW1 aos rolos secadores (sistema LW) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento da mistura de solvente 55CR
Água Gelada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento da DIW1 para a cortina de água do sistema de exaustão (L3+P2) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arrefecimento da DIW1 para a cortina de água do sistema de exaustão (L3+P2) 2. Arrefecimento da recirculação das cubas TMF e FM10 3. Arrefecimento da DIW1 aos rolos secadores (sistema LW)
Água Desionizada DIW1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dessobreaquecimento do Vapor 20S 2. Cortina de água na exaustão húmida 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dessobreaquecimento do Vapor 20S
Vapor 5S	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquecedor de xarope (afinamento da temperatura) 2. Aquecimento de RW (afinamento da temperatura) (L3+P2) 3. Aquecimento das cubas de lavagem 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquecimento das cubas de lavagem 2. Aquecimento de RW (afinamento da temperatura) (L3+P2)
Vapor 20S	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquecimento dos rolos secadores 2. Tratamento térmico para a frisagem da fibra - <i>Crimpers</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquecimento dos 1^{os} e 2^{os} rolos secadores

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Área CB

Para o cálculo de consumos na Área CB foram usados consumos específicos para a previsão de consumo de TW-B e Vapor.

Tabela 5.9 Discriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área CB.

Utilidades	Produção
Água de Refrigeração TW-B	1. Condensadores
Água Desionizada DIW1	1. Dessobreaquecimento de Vapor 20S
Vapor 5S	1. Vapor para os <i>Recrimpers</i>
Vapor 20S	1. Vapor para os Autoclaves

Área SR

A Área SR tem uma única corrente de entrada no processo. Esta provém da Área SP e é uma solução aquosa de solvente de concentração variável. Esta concentração pode variar entre 40% e 60% de solvente em água dependendo da situação produtiva da Área SP. A oscilação de concentração desta corrente tem efeitos diretos no funcionamento da Área SR. E, ao assumir uma estabilidade de produção da mesma, está também a assumir-se uma estabilidade na concentração da corrente de alimentação à Área SR. Assim, há que ter em conta que este balanço não reflete estas oscilações e que tal pode ter repercussões no consumo estimado.

Tabela 5.10 Discriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área SR.

Utilidades	Produção
Água de Refrigeração TW	1. Condensador do 4º efeito
	2. Arrefecimento do sistema de DIW1 do processo SM
	3. Condensador da 2ª coluna de AC
	4. Condensador da coluna de DMA
	5. Arrefecimento da água do sistema de vácuo
Água Desionizada DIW1	1. Acerto de caudal de RW
	2. Make-up ao sistema de vácuo
Vapor 20S	1. Revaporizadores e aquecedores da coluna de 1º efeito
	2. Ejetores de vácuo
	3. Revaporizador da 1ª coluna de AC

Área UT

Tabela 5.11 Discriminação das operações consumidoras consideradas no balanço teórico por utilidade da Área UT.

Utilidades	Produção
Água de Refrigeração TW	1. Sistema de arrefecimento de água gelada
	2. Arrefecimento dos compressores

5. Discussão dos Resultados Obtidos

5.4.1 Verificação do Balanço. Consumos teóricos vs. Consumos reais.

Seguidamente serão analisados os consumos horários resultantes do balanço teórico e comparados com os consumos reais por utilidade (médias horárias do consumo mensal), de modo a verificar a exatidão do balanço realizado.

Para tal, foram comparados os consumos mensais de janeiro a junho de 2017. Primeiramente foi calculada a média de reatores e máquinas *spinning* em funcionamento durante cada um destes meses. Seguidamente foram feitas simulações relativas a cada um dos meses em estudo com os valores calculados. Um exemplo do relatório produzido pelo balanço encontra-se no Anexo V.

Na Figura 5.27 estão apresentadas as produções médias horárias de polímero e fibra têxtil e percussora. Pode aqui constatar-se que a produção de percussor (P2), tanto na forma de polímero como de fibra, é muito inferior quando comparada com a produção de polímero e fibra têxtil (L3). Posto isto, é esperado que os consumos de utilidades associados à produção de P2 sejam também de ordem de grandeza inferior relativamente aos consumos associados à produção de L3.

Porém, isto não significa que em termos de consumo específico, que traduz a eficiência do processo, o processo P2 seja o mais eficiente. Se forem considerados os índices praticados pela Fisipe de ton utilidade/ton fibra verifica-se que os consumos específicos do processo P2 igualam e até ultrapassam os consumos específicos relativamente à produção de L3. Contudo, para o objetivo deste balanço, que é focado principalmente o planeamento e a verificação da veracidade das leituras de consumo, não há relevância em estudar os consumos específicos. Por este motivo, foram utilizados consumos absolutos.

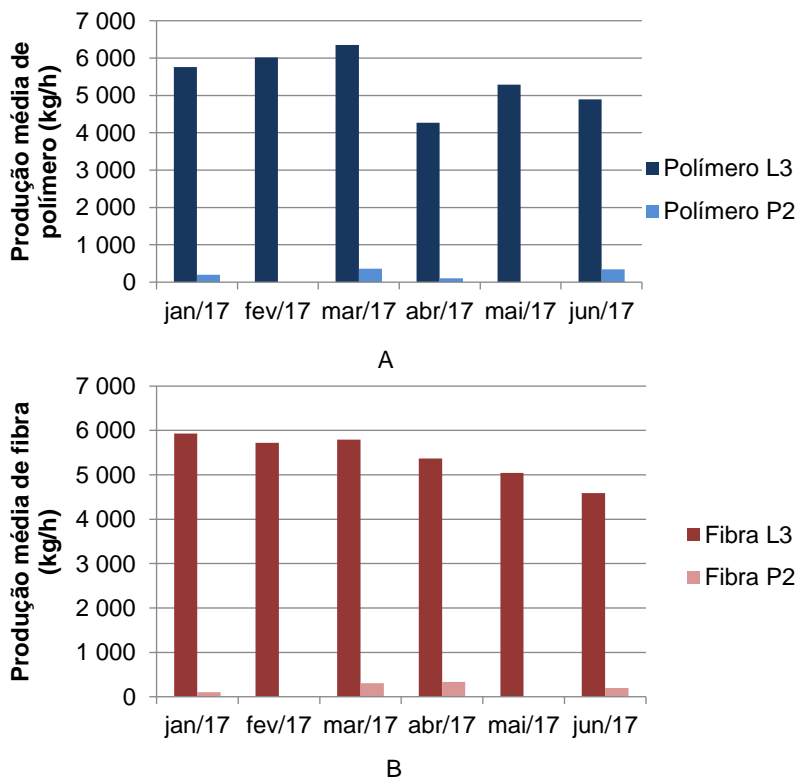


Figura 5.27 A) Produção horária média de polímero dos meses de janeiro a junho de 2017. B) Produção horária média de fibra dos meses de janeiro a junho de 2017.

II.1. Água de Refrigeração das áreas SR e CP (TW)

Na Figura 5.28 estão apresentados os consumos de TW obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

Em relação à Área CP1, gráfico A, verifica-se que o consumo estimado pelo balanço está sempre aquém do consumo real, com uma diferença média de -112,4 ton/h. Este representa um decréscimo médio do valor estimado em relação ao real de 50%. Sendo este um erro consistente, e com pouca oscilação, é presumível que este esteja relacionado com a construção do balanço energético à área. Este poderá ter como causa a qualidade dos dados recolhidos necessários à realização do balanço. Outra razão poderá ser a não contabilização de algum equipamento consumidor de TW na Área CP.

O consumo referente à Área CP2, gráfico B, é pouco significativo quando comparado com o consumo referente às restantes áreas consumidoras. Por serem consumos tão residuais, a mais pequena diferença de consumo entre o consumo estimado e real em termos quantitativos poderá representar um aumento em percentagem relevante, chegando a um máximo de 100% de erro no presente caso.

Na Área SR, gráfico D, os consumos estimados e reais, entre o mês de janeiro e maio, mantiveram-se próximos, com o erro do consumo estimado a variar entre -9% e 12%. No mês de junho este erro aumenta para 51%. É de referir que o consumo estimado pelo balanço contempla a totalidade de consumo de TW, TW fresca mais a TW proveniente das máquinas de água gelada. Na folha de contabilização dos consumos de Utilidades até ao mês de maio, a contabilização do consumo de TW pela Área SR era também considerada na sua totalidade. Assim, a TW consumida pelas máquinas de Água Gelada e, posteriormente, pela Área SR estava a ser cobrada em ambas as áreas. Posto isto, na contabilização do mês de junho este consumo passou a ser apenas contabilizado no consumo da Área UT, sendo assim retirado da contabilização da Área SR. Por este motivo o consumo real de TW decresceu no mês de maio, já resultante deste trabalho.

Na Área UT, gráfico D, verifica-se que o consumo estimado está sempre por defeito, sendo que em média tem um erro de -49%. Visto que o seu cálculo é feito por consumos específicos das máquinas de Água Gelada e compressores, é presumível que o erro esteja nele contemplado.

Em suma, a aferição do consumo de TW da Área SR foi conseguido com sucesso, tendo apenas que se ter em atenção que o balanço devolve o consumo total da área. No caso das áreas CP1 e UT, as considerações feitas no balanço deverão ser vistas a um nível mais profundo para uma futura versão do balanço.

II.2. Água de Refrigeração das áreas SP e DP (TW-A)

Na Figura 5.29 estão apresentados os consumos de TW-A obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

Analisando o gráfico A referente à Área SP1, verifica-se uma maior proximidade entre o consumo estimado e real, ainda que por defeito, com um erro rondando -14%, entre fevereiro e maio. Nos meses de janeiro e junho esta diferença torna-se mais evidente, apresentando esta área no mês de janeiro um consumo estimado superior ao real, e no mês de junho, o consumo estimado é inferior ao real. Este comportamento mostra a incapacidade de o balanço retratar o perfil de necessidades de poder de refrigeração sazonais. Ou seja, o balanço não contempla corretamente a maior necessidade de poder de refrigeração nos meses mais quentes e, conseqüentemente, a menor necessidade de refrigeração nos meses mais frios. Posto isto,

5. Discussão dos Resultados Obtidos

as necessidades caloríficas deverão ser estudadas a um nível mais aprofundado de modo a colmatar estas diferenças.

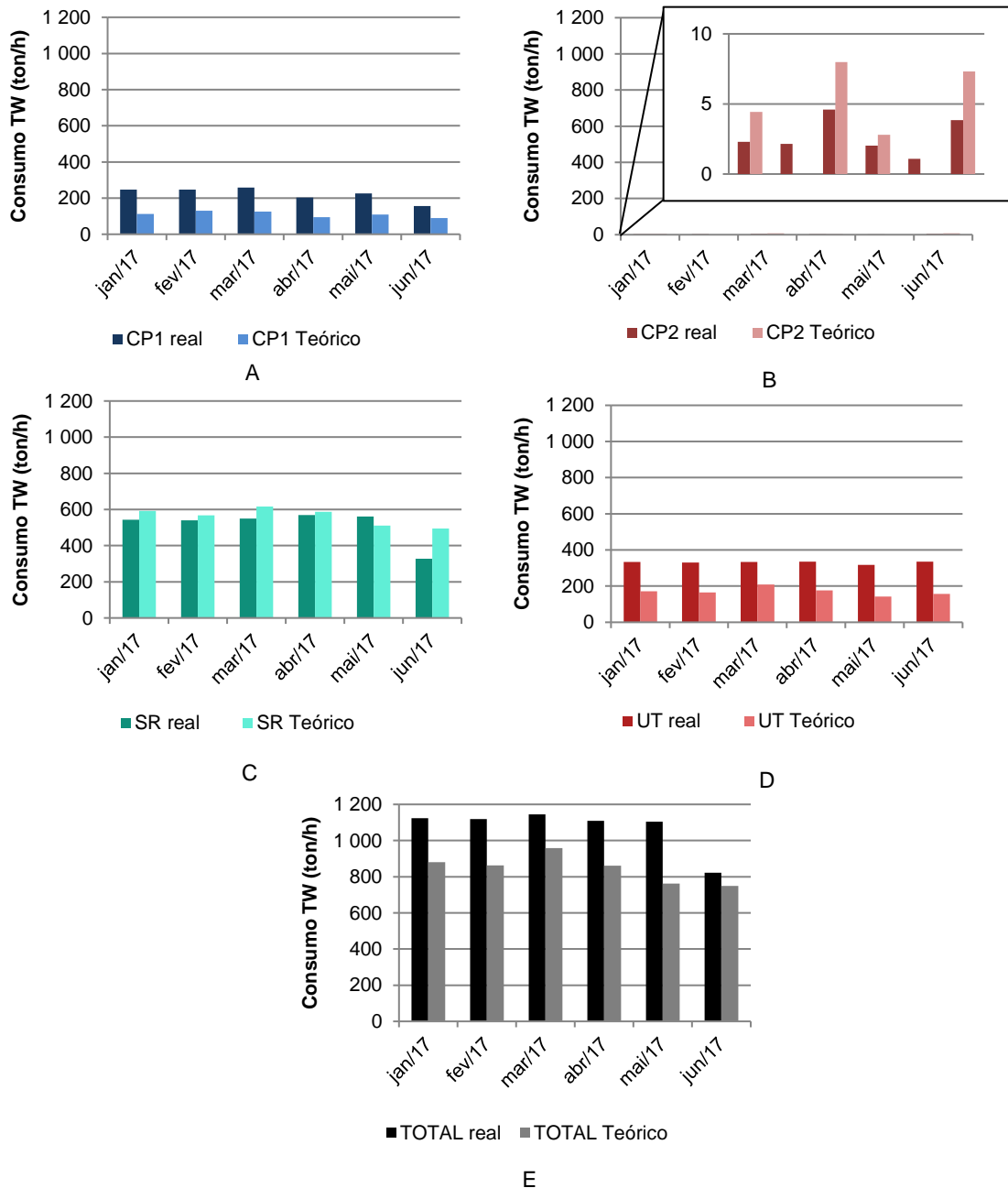


Figura 5.28 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SR. D) Consumos da Área UT. E) Consumo total.

Tanto os consumos referentes à Área SP2, gráfico B, como à Área DP2, gráfico C, são residuais, não tendo influencia no consumo total. No entanto, é de referir que o consumo estimado da Área SP2 é tendencialmente 22% superior, em média, ao consumo real.

Resumindo, o balanço não acompanha a sazonalidade da necessidade de utilidade sendo o resultado deste tendencialmente inferior ao consumo real de TW-A.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

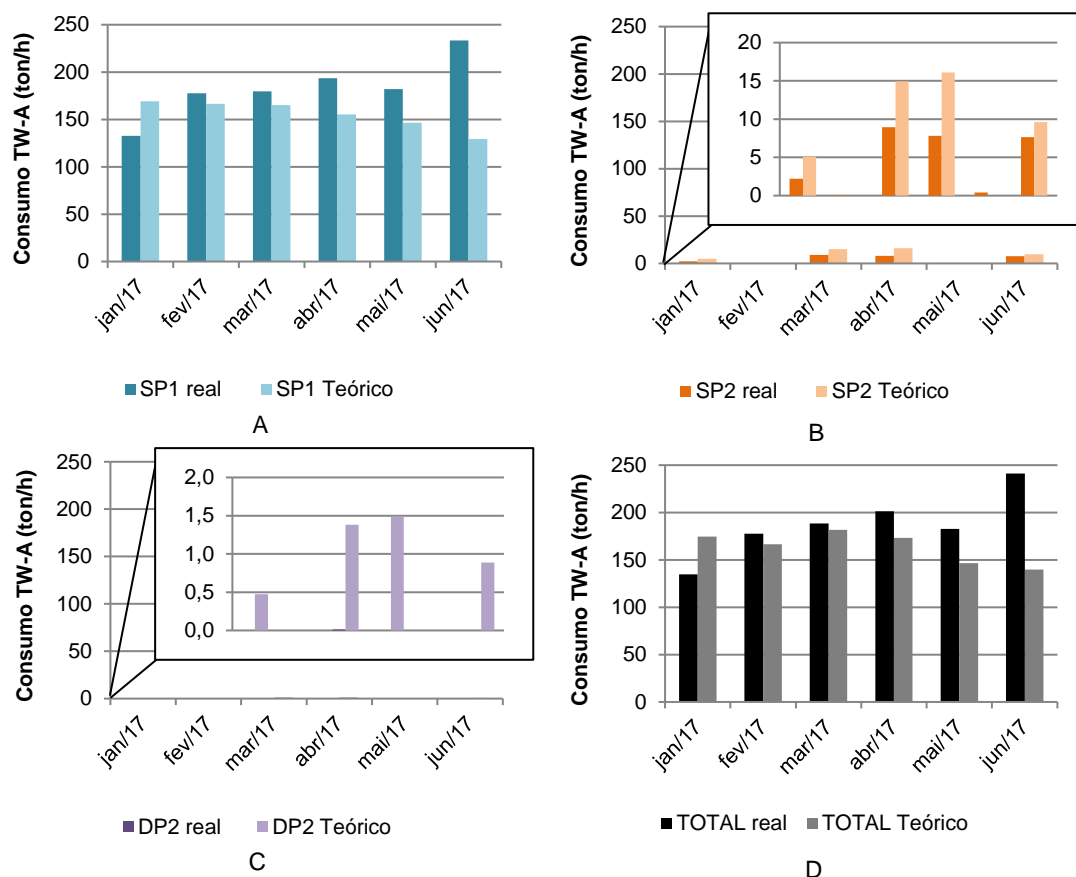


Figura 5.29 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW-A relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área SP1. B) Consumos da Área SP2. C) Consumos da Área DP2. D) Consumo total.

II.3. Água de Refrigeração da área CB (TW-B)

Na Figura 5.30 estão apresentados os consumos de TW-B obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

A TW-B é apenas consumida pela Área CB, no entanto, parte da água de retorno é ainda aproveitada pela Área SP na exaustão. Assim, a totalidade do consumo é contabilizada como consumo da Área CB. O consumo desta foi calculado segundo consumos específicos, pelo que o consumo estimado vai oscilar em relação ao consumo real. A diferença entre consumos oscila assim entre -23% e +32%.

II.4. Água Gelada (CW)

A comparação entre os consumos estimados pelo balanço teórico e os consumos reais de Água Gelada está exposta na Figura 5.31.

Ao analisar esta figura, verifica-se que a maior parte do consumo é referente à Área CP1. Observando o gráfico A, verifica-se que o balanço faz uma boa estimativa do consumo, tendo apenas um erro médio de -2% do consumo teórico em comparação com o consumo real dos meses de fevereiro, março e abril. Nos restantes meses esta diferença aumenta. No mês de janeiro este tem uma diferença de +11% em relação ao consumo real e nos meses de maio e junho, o consumo estimado tem um erro de -27% e -48%,

5. Discussão dos Resultados Obtidos

respetivamente. Isto realça o facto de o balanço não conseguir acompanhar as oscilações sazonais de temperatura, como foi anteriormente referido.

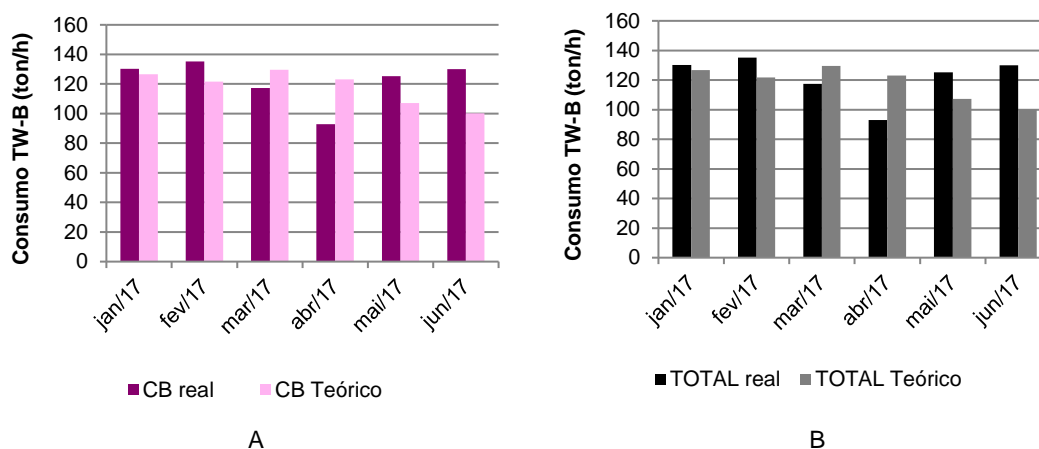


Figura 5.30 Consumo real vs. Consumo teórico de Água de Refrigeração TW-B relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CB. B) Consumo total.

Em relação ao consumo relativo à Área CP2, este segue a mesma tendência que a Área CP1, mas a um nível de grandeza inferior.

O consumo da Área DP1 estimado é tendencialmente superior ao real. Embora esta diferença chegue no máximo a cerca de 1,7 ton/h, este representa um aumento de $\pm 100\%$ em relação ao consumo real, gráfico C.

Os consumos referentes às áreas DP2 e SP1 são residuais, pelo que não tem impacto no consumo total de utilidade.

Por fim, em relação ao consumo da Área SP2, esta diferença extrema entre o consumo estimado e o consumo real poderá ter razão na não contabilização do consumo desta área na folha de contabilização de consumos. O maior consumidor de CW na Área SP2 é o arrefecimento da DIW1 no sistema de LW. Enquanto a linha que alimenta a CW aos arrefecedores das correntes de recirculação da TMF e FM10 e FM11 tem um caudalímetro identificado como SP2, o caudalímetro que alimenta o sistema de LW está identificado como SP1. Isto porque o permutador com CW pode alimentar qualquer uma das 10 SPM, embora normalmente alimente apenas a SPM10. Isto poderá assim ter resultado na não contabilização deste consumo.

Em suma, o balanço faz uma estimativa de consumo concordante com o consumo real. No entanto, devido à incapacidade de acompanhar as oscilações sazonais de temperatura, a certeza desta estimativa decresce com os picos das estações de inverno e verão.

II.5. Água Desionizada DIW1

Na Figura 5.32 estão apresentados os consumos de Água Desionizada DIW1 obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

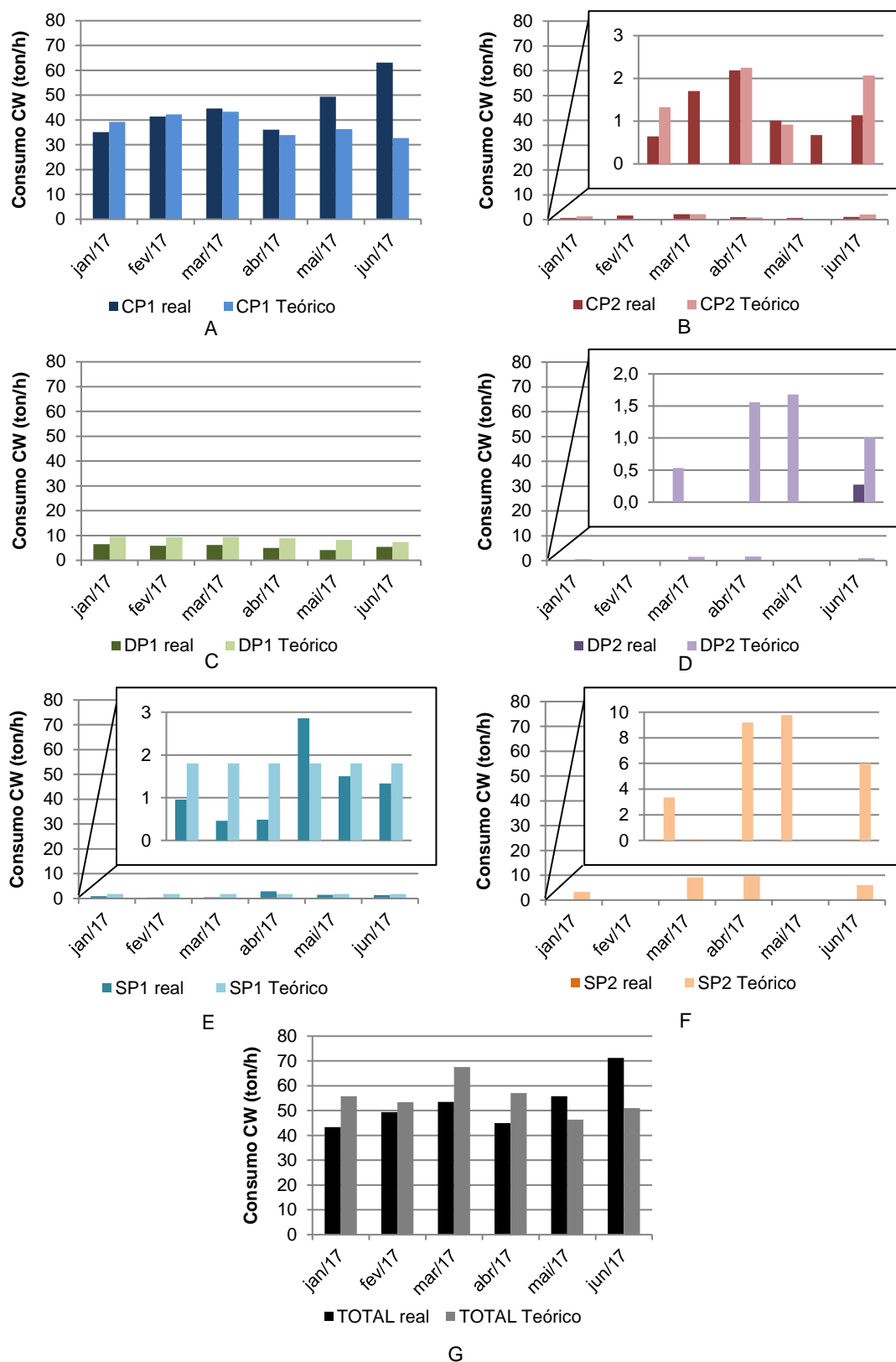


Figura 5.31 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Gelada CW relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área DP1. D) Consumos da Área DP2. E) Consumos da Área SP1. F) Consumos da Área SP2. G) Consumo total.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

Devido à débil monitorização desta utilidade, como explicado anteriormente, a comparação entre o consumo estimado e o consumo real não é realista, pois a distribuição da utilidade tomada como real é contabilizada por estimas de caudal e não por medições reais.

Contudo, pelos resultados do balanço, é possível perceber que o grande consumidor desta utilidade é a Área CP1. A Área SR, embora com um consumo muito inferior à Área CP, é o segundo maior consumidor de DIW1. As áreas SP e CB têm consumos bastante inferiores, onde esta é essencialmente utilizada no dessobreaquecimento do vapor.

II.6. Água Desionizada DIW2

Na Figura 5.33 estão apresentados os consumos de Água Desionizada DIW2 obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

O consumo de DIW2 é essencialmente assegurado pela Área CP1 em que o erro do consumo estimado em relação ao real varia entre os -17% e os +18%. Verifica-se assim que o consumo de DIW2 é estimado de uma forma precisa.

II.7. Água Desionizada DIW3

Na Figura 5.34 está apresentado o consumo de Água Desionizada DIW3 obtido pelo balanço em comparação com o consumo real.

A DIW3 é apenas consumida pela CCB onde o seu consumo depende da capacidade da fábrica recuperar e retornar os condensados à central. Assim, o seu consumo depende diretamente do consumo de vapor e da capacidade de recuperar os condensados.

O cálculo de consumo é feito consoante a utilização de vapor nas áreas CP, SP e SR e onde o cálculo do retorno de condensados tem por base fatores empíricos. Após este cálculo é então estimado o consumo de DIW3 que será a subtração do valor do retorno de condensado calculado da massa de vapor consumido.

Na Figura 5.34 percebe-se que o consumo estimado é tendencialmente inferior ao consumo real. Uma razão plausível para este comportamento será a desatualização dos fatores usados para o cálculo, onde estes já não traduzem o funcionamento da fábrica atual.

II.8. Vapor 5S

Na Figura 5.35 estão apresentados os consumos de Vapor 5S obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

Analisando a Figura 5.35 é possível verificar que de uma forma geral o balanço consegue estimar os consumos em concordância com os consumos reais. Em relação à Área CP, o consumo estimado tem um erro médio de +10% em relação ao teórico, oscilando entre -11% e +29%.

No caso da Área CP2, as diferenças percentuais aumentam consideravelmente, chegando a um máximo de 441%. No entanto, este pico apresenta apenas uma diferença de 0,8 ton/h, que, em relação ao consumo total, é irrelevante. Este comportamento em que grandes diferenças percentuais significam um consumo irrelevante estende-se às áreas DP1, DP2, SP1 e SP2.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

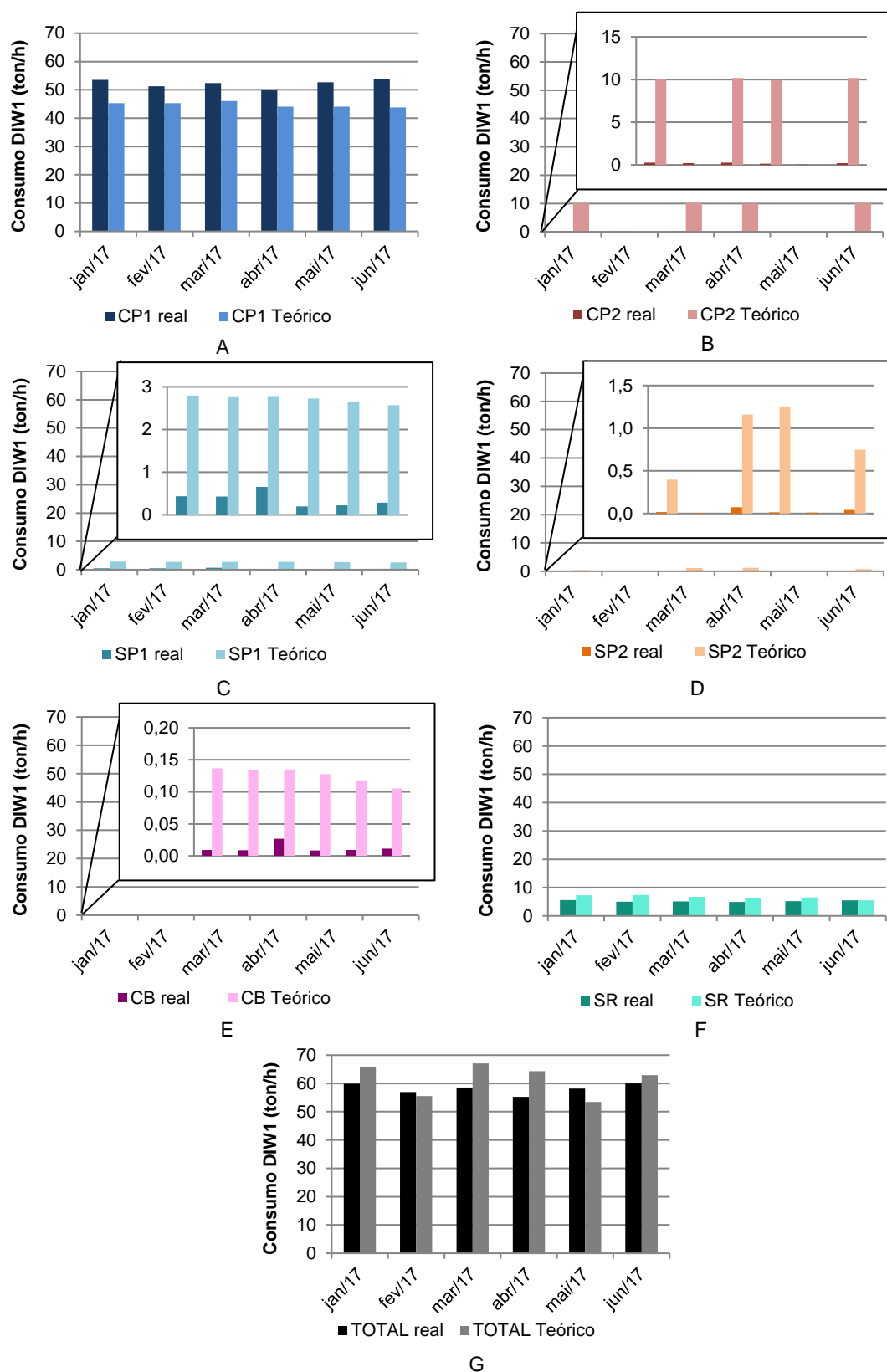


Figura 5.32 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW1 relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SP1. D) Consumos da Área SP2. E) Consumos da Área CB. F) Consumos da Área SR. G) Consumo Total.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

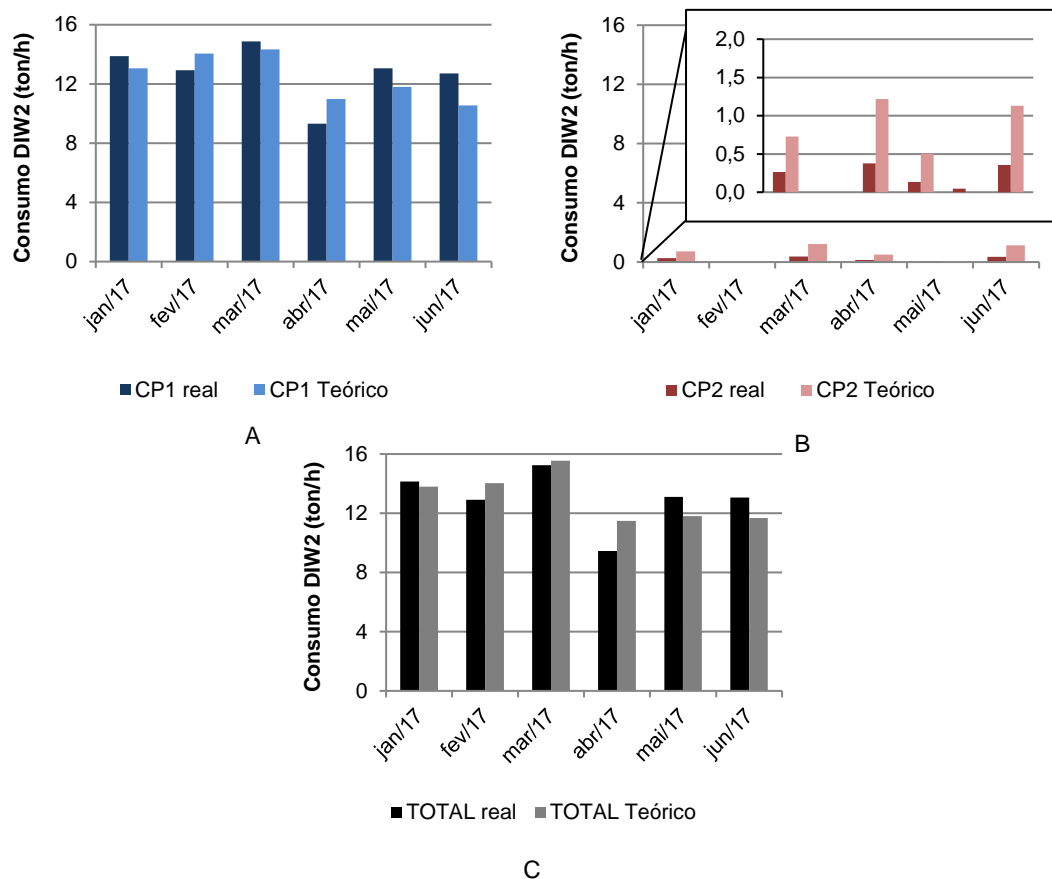


Figura 5.33 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW2 relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumo Total.

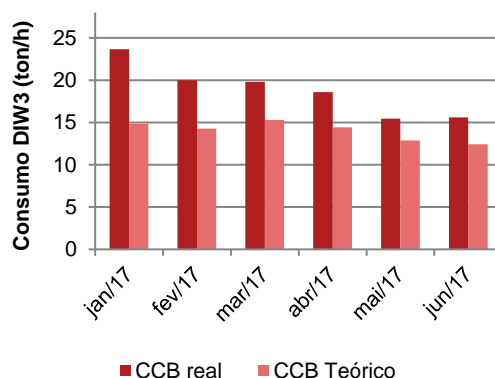


Figura 5.34 Consumo real vs. Consumo teórico de Água Desionizada DIW3 à CCB relativos aos meses de janeiro a junho de 2017.

No caso do consumo relativo à Área CB, é perceptível, no gráfico G, que nos meses de janeiro e fevereiro o erro do consumo estimado é superior aos restantes meses. Tal acontece porque, até ao mês de fevereiro, na contabilização dos consumos reais, estava a ser registado um consumo referente ao Vapor de 20S que, anteriormente, era assegurado pelo Vapor 5S. Posto isto, verifica-se que o balanço consegue estimar o consumo desta área de uma forma precisa, onde o ser erro oscila entre o -15% e +14% nos meses após esta atualização.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

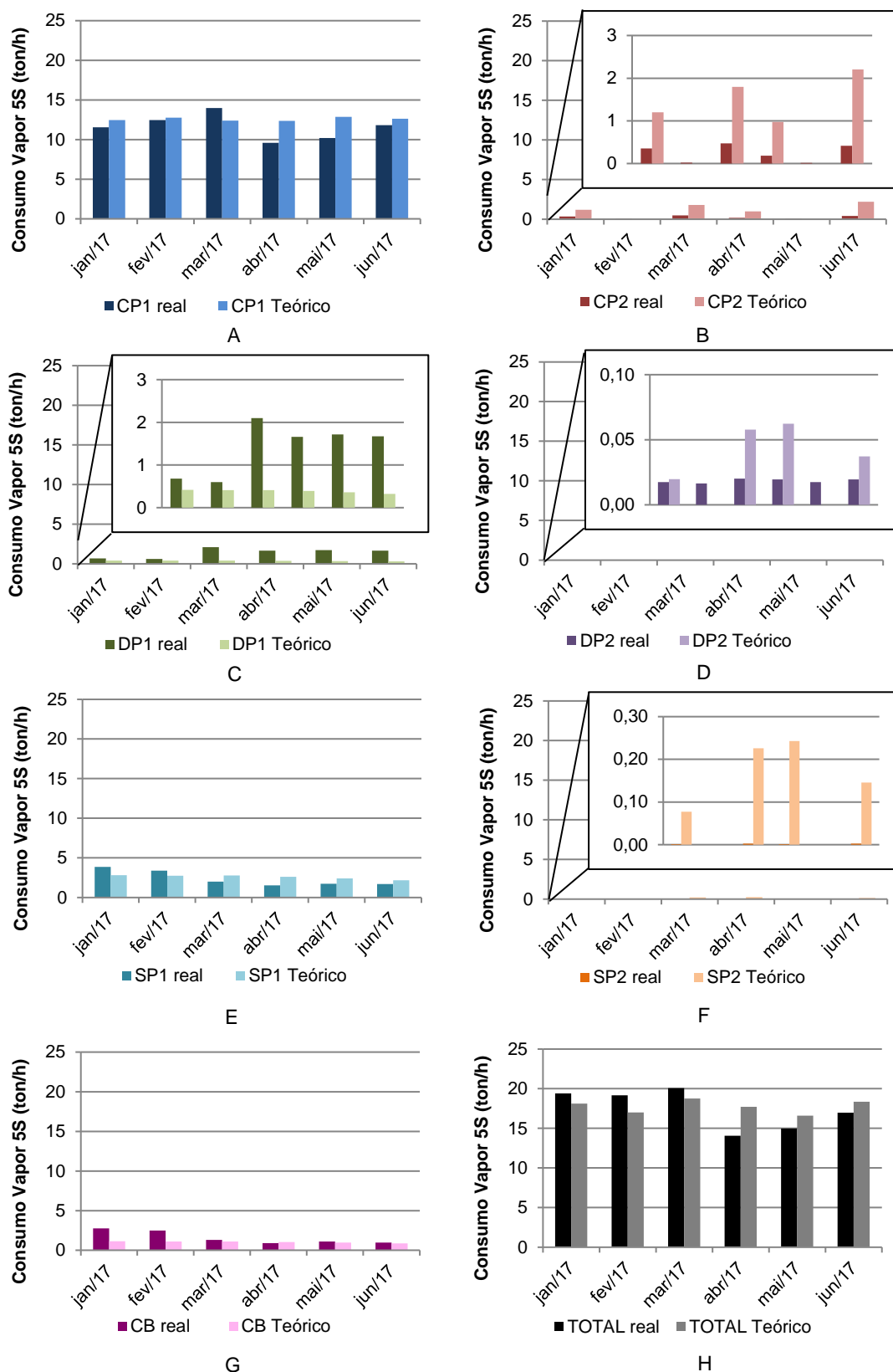


Figura 5.35 Consumo real vs. Consumo teórico de Vapor 5S relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área DP1. D) Consumos da Área DP2. E) Consumos da Área SP1. F) Consumos da Área SP2. G) Consumos da Área CB. H) Consumo Total.

II.9. Vapor 20S

Na Figura 5.36 estão apresentados os consumos de Vapor 20S obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

Ao analisar os gráficos de A a E, verifica-se que o consumo estimado segue de uma forma muito precisa o consumo real das diferentes áreas.

No gráfico C é explícita a mudança na contabilização dos consumos de Vapor 5S para 20S. Verifica-se que a partir do mês de março foi iniciada a contabilização do consumo de Vapor 20S que anteriormente era contabilizado como Vapor 5S.

II.10. Ar Comprimido

Na Figura 5.37 estão apresentados os consumos de Ar Comprimido obtidos pelo balanço em comparação com os consumos reais.

O cálculo de consumos referentes a esta utilidade foi inteiramente por base em consumos específicos. É assim previsível que os consumos estimados oscilem entre os valores de consumo real, como se pode constatar na figura acima referida.

Condensando, a diferença entre o consumo estimado e o consumo real pode ter origem na construção do balanço, na contabilização do consumo, na instrumentação de medição de caudal ou no processo. Esta relação causa-efeito pode ser observada na Figura 5.38.

Esta diferença poderá estar relacionada com alguma consideração que tenha sido feita erradamente na construção do balanço, a não consideração de algum aspeto relacionado com a produção ou, por fim, a não contabilização de equipamentos consumidores.

A forma como o consumo é contabilizado poderá também ser uma das causas para esta diferença. Poderá estar em causa algum erro de cálculo na contabilização do mesmo, poderão estar a ser feitas suposições que não estejam de acordo com o funcionamento atual da fábrica (fatores empíricos) ou ainda a não contabilização de algum ponto de medição e/ou área consumidora.

A diferença entre o consumo estimado e real pode ainda ter origem na própria instrumentação de medição. O transmissor de sinal, quando o há, poderá estar avariado, o instrumento poderá não estar calibrado ou, em último caso, o instrumento de medição poderá estar avariado.

Uma fuga na rede de Utilidades poderá também ser uma das causas desta diferença.

Por fim, uma outra causa para que possa ocorrer uma diferença entre o consumo estimado e real pode estar relacionada com o processo em si. Este poderá ter sofrido alterações ou pode não estar a funcionar da forma mais eficiente.

Devido às inúmeras possibilidades de causa para a diferença entre o consumo estimado e real, os resultados produzidos pelo balanço deverão ser analisados com um olhar crítico para que se possa tirar conclusões corretas sobre a situação de consumos de utilidades pela fábrica. Com este olhar crítico, pode-se identificar de uma forma antecipada problemas que possam ocorrer, ajudando a empresa a responder

5. Discussão dos Resultados Obtidos

ao mesmo de uma forma mais rápida e eficaz. Assim, este torna-se numa ferramenta útil de gestão de fábrica.

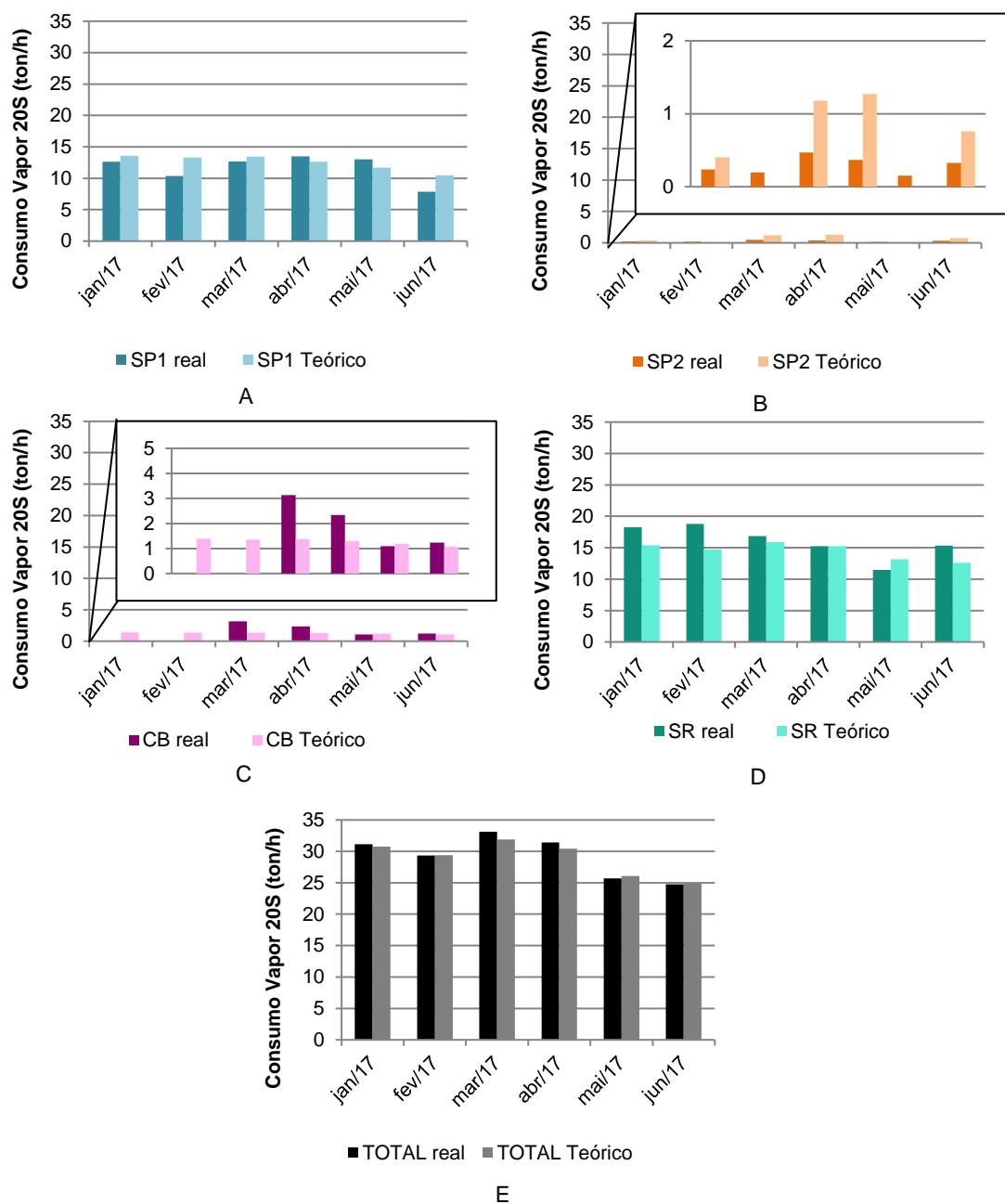


Figura 5.36 Consumo real vs. Consumo teórico de Vapor 20S relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área SP1. B) Consumos da Área SP2. C) Consumos da Área CB. D) Consumos da Área SR. E) Consumo Total.

5. Discussão dos Resultados Obtidos

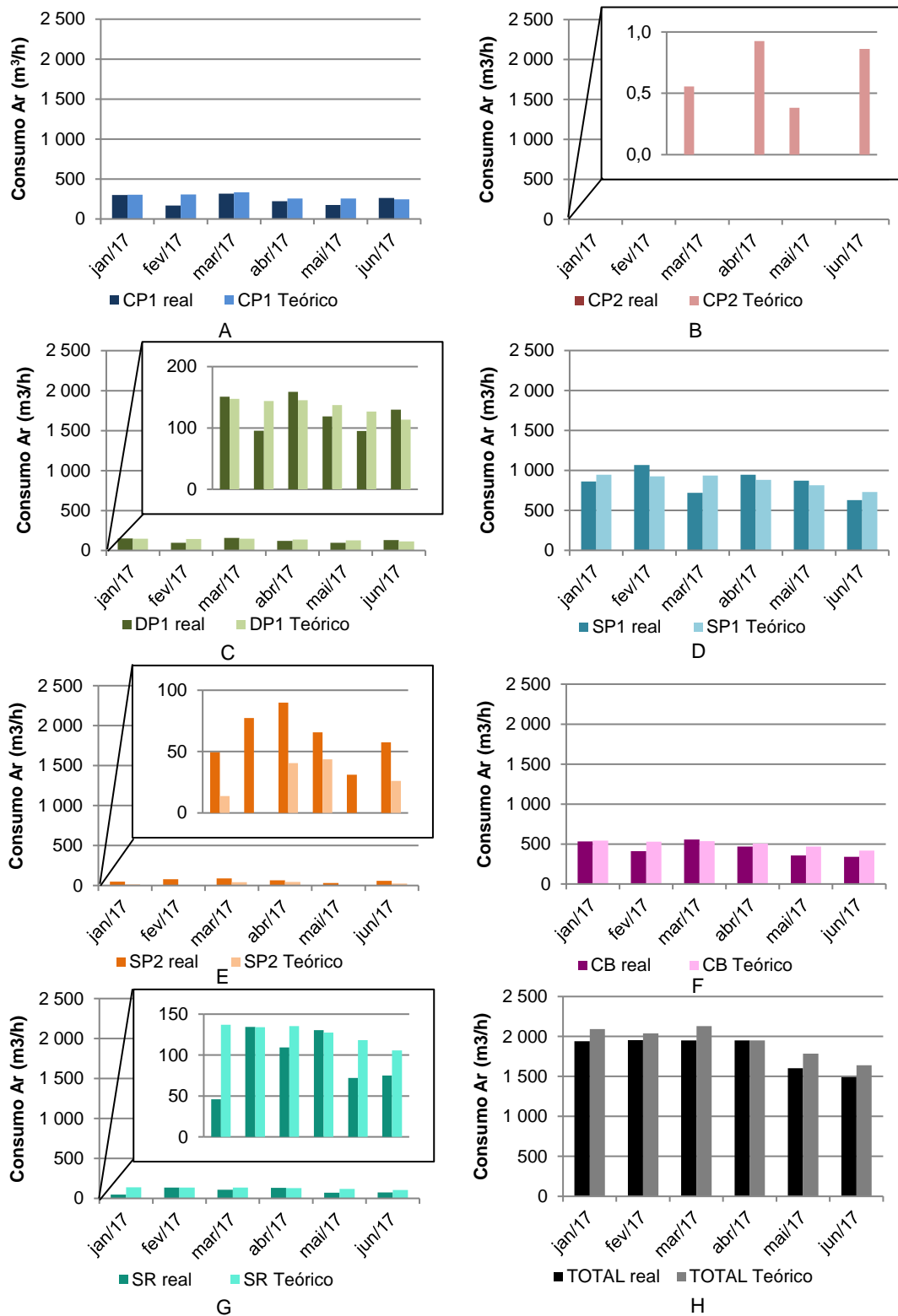


Figura 5.37 Consumo real vs. Consumo teórico de Ar Comprimido relativos aos meses de janeiro a junho de 2017. A) Consumos da Área CP1. B) Consumos da Área CP2. C) Consumos da Área SP1. D) Consumos da Área SP2. E) Consumos da Área DP1. F) Consumos da Área CB. G) Consumos da Área SR. H) Consumo Total

5. Discussão dos Resultados Obtidos



Figura 5.38 Diagrama causa-efeito para a diferença entre o consumo estimado pelo balanço e o consumo real de utilidade.

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

6.1 CONCLUSÕES

Sendo a Fisipe uma consumidora intensiva de energia, com um consumo de cerca de 40.000 tep/ano, esta tem um especial interesse em reduzir os seus consumos energéticos. Para além de a Fisipe ter interesse em reduzir a sua fatura energética, atualmente cerca de 11 M€ ao ano, esta é ainda obrigada por lei a reduzir o seu consumo energético. Com a implementação do PREn, esta é obrigada a melhorar em 6% os indicadores de intensidade energética.

Assim, com o intuito de melhorar o desempenho energético da empresa, foram aqui delineadas e implementadas algumas ações de melhoria focadas na monitorização dos consumos de utilidades.

Com o propósito de melhorar e alargar o conhecimento sobre a fábrica de utilidades foram construídos nove diagramas de rede e nove P&IDs. Enquanto os diagramas de rede oferecem um conhecimento sobre a disposição geográfica da rede de utilidades, distribuída pelas diferentes áreas consumidoras, os P&IDs oferecem um conhecimento mais aprofundado sobre toda a instalação de produção de utilidades. Estes mostram de uma forma concentrada e detalhada informação técnica referente ao processo, como detalhes de engenharia de tubagem, equipamentos, válvulas, instrumentação, *loops* de controlo, entre outros.

Após a construção destes, a Fisipe tem agora à sua disposição ferramentas que permitem ter uma visão clara sobre a atual fábrica de utilidades.

Por forma a melhorar a atual monitorização dos consumos de utilidades foi proposta a implementação de novos pontos de medição de caudal para perfazer a monitorização a 100% de consumo através de medições reais e eliminar a contabilização de consumo de utilidades por estimativa.

Foram identificados 49 locais, por onde são consumidas utilidades sem pontos de medição de caudal. Destes, foram escolhidos 10 para uma primeira fase de implementação. Com um custo associado de consumo sem medição de cerca de 512 mil € anuais, estes foram selecionados de acordo com o seu peso relativo de custo associado.

Com a implementação destes novos caudalímetros, é esperado que o consumo estimado diminua significativamente. Em termos quantitativos, é previsto que o custo associado ao consumo estimado seja reduzido em cerca de 76%.

A implementação desta medida pode não apresentar resultados instantâneos relativamente a redução de consumos, no entanto, com uma monitorização em contínuo de consumos reais, torna possível uma abordagem mais exigente no sentido de melhorar a eficiência dos processos.

De modo a complementar e melhorar a monitorização dos consumos, foi aqui construída uma folha de cálculo Excel®, onde através de um balanço energético feito à fábrica são estimados os consumos de utilidades pelas diferentes áreas consumidoras, consoante o cenário de produção.

Com esta ferramenta disponível, a Fisipe, ao comparar os consumos estimados com os reais, poderá identificar problemas inerentes à forma de contabilização dos consumos, à instrumentação de medição de caudal de utilidades ou mesmo identificar problemas relacionados com a eficiência do processo de produção. Este pode ainda ajudar na identificação de possíveis fugas ao longo da sua rede de distribuição.

6. Conclusões e Trabalho Futuro

Este balanço poderá ainda servir como ferramenta auxiliar no planeamento de produção da fábrica, prevendo assim o consumo de utilidades do cenário de produção possibilitando uma melhor distribuição dos consumos no tempo, evitando grandes oscilações que resultaram numa melhor gestão de recursos. Utilizando o balanço nesta vertente poderá ajudar em muito em reduzir a fatura de vapor na medida que mantem o consumo da Fisipe na produção ótima da CCB de 50 ton/h.

Através da implementação das medidas supra descritas, crê-se que a monitorização dos consumos de utilidades da Fisipe foi melhorada, pelo facto de que após este trabalho a empresa tem disponíveis diagramas que descrevem detalhadamente toda a rede de utilidades, o volume de medições de caudal consumido foi ampliado e foi criada uma ferramenta de previsão de consumos.

6.2 PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

Embora este trabalho tenha contribuído para a melhoria da monitorização de consumos de utilidades da Fisipe, esta deverá ser uma melhoria contínua. Para tal, no seguimento deste trabalho, é aqui proposto como trabalho futuro:

- II.11. Atualização constante dos diagramas sempre que haja alterações na rede;
- II.12. Continuação da implementação de pontos de medição de caudal consumido nos locais em falta;
 - Após os consumos por área estarem definidos a 100%, deve ser iniciado o mesmo processo relativamente aos principais equipamentos consumidores.
- II.13. Atualização e melhoria do balanço energético à fábrica onde seja contemplado no balanço as diferentes variáveis do processo:
 - Considerar cada uma das linhas de *spinning* em separado, com as características inerentes às mesmas;
 - Considerar os diferentes tipos de fibra produzida e as implicações que a sua produção tenham nas condições de processo;
 - Contemplar as oscilações de produção da Área SR consoante a produção da Área SP;
 - Adicionar os equipamentos consumidores que não foram aqui considerados por terem um consumo pouco significativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEA - International Energy Agency, "IEA Sankey Diagram," 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/Sankey/#?c=IEA Total&s=Balance>. [Acedido em 31 07 2017].
- [2] K. Vikhorev, R. Greenough e N. Brown, "An Advanced Energy Management Framework to Promote Energy Awareness," *Journal of Cleaner Production*, vol. 43, pp. 103-112, 2013.
- [3] FISIFE - Fibras Sintéticas de Portugal, SA, "*Descrição Sumária Sistema de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança*", 2014.
- [4] A. Fonseca, P. Pires e H. Durão, "*Benchmarking de Energia*", AEP – Associação Empresarial de Portugal, 2015.
- [5] G. C. Saldanha, S. E. Costa e E. P. Lima, "Energy efficiency frameworks: a literature overview," em *POMS - Production and Operations Management Society*, 2016.
- [6] G. May, M. Taisch, V. V. Prabhu e I. Barletta, "Energy Related Key Performance Indicators – State of the Art, Gaps and Industrial Needs," *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, vol. 414, nº Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains, pp. 257-267, 2013.
- [7] C. Schmidt, W. Li, S. Thiede, B. Kornfeld, S. Kara e C. Herrmann, "Implementing Key Performance Indicators for Energy Efficiency in Manufacturing," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 758-763, 2016.
- [8] V. Magueijo, M. C. Fernandes, H. A. Matos, C. P. Nunes, J. P. Calau, J. Carneiro e F. Oliveira, *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*, ADENE - Agência para a Energia, 2010.
- [9] Rosemount, *White Paper: Process Energy Management: Measure, monitor then improve*, Rosemount - Emerson Process Management, 2014.
- [10] Honeywell International Inc., "honeywellprocess," 1 junho 2008. [Online]. Available: https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/EnergyEfficiency_SN_June08.pdf. [Acedido em 2 março 2017].
- [11] Union Gas customers, "Flow Meters: Key to Optimizing Energy Consumption," Questline RelationshipBuilder, [Online]. Available: <http://members.questline.com/Article.aspx?articleID=22227&accountID=1863&nl=12561>. [Acedido em 16 05 2017].
- [12] M. Fedele, "White paper: Flow measurement," 20 06 2011. [Online]. Available: <http://www.plantengineering.com/media-library/white-papers/single-article/white-paper-flow-measurement/3ea80a252b.html>. [Acedido em 16 05 2017].
- [13] S. A. Williams, "Go with the Flow: How Flow Meters Can Help Improve Plant Efficiency | Compressed Air Best Practices," [Online]. Available: <https://www.airbestpractices.com/technology/instrumentation/go-flow-how-flow-meters-can-help-improve-plant-efficiency>. [Acedido em 23 05 2017].
- [14] M. Malheiro, "Instrumentação Industrial e Medição de Caudal - Parte 3," *Robótica*, pp. 21-25, 2010.
- [15] ISO, *ISO 50001:2011 "Sistemas de gestão de energia: Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização"*, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2012.

7. Bibliografia

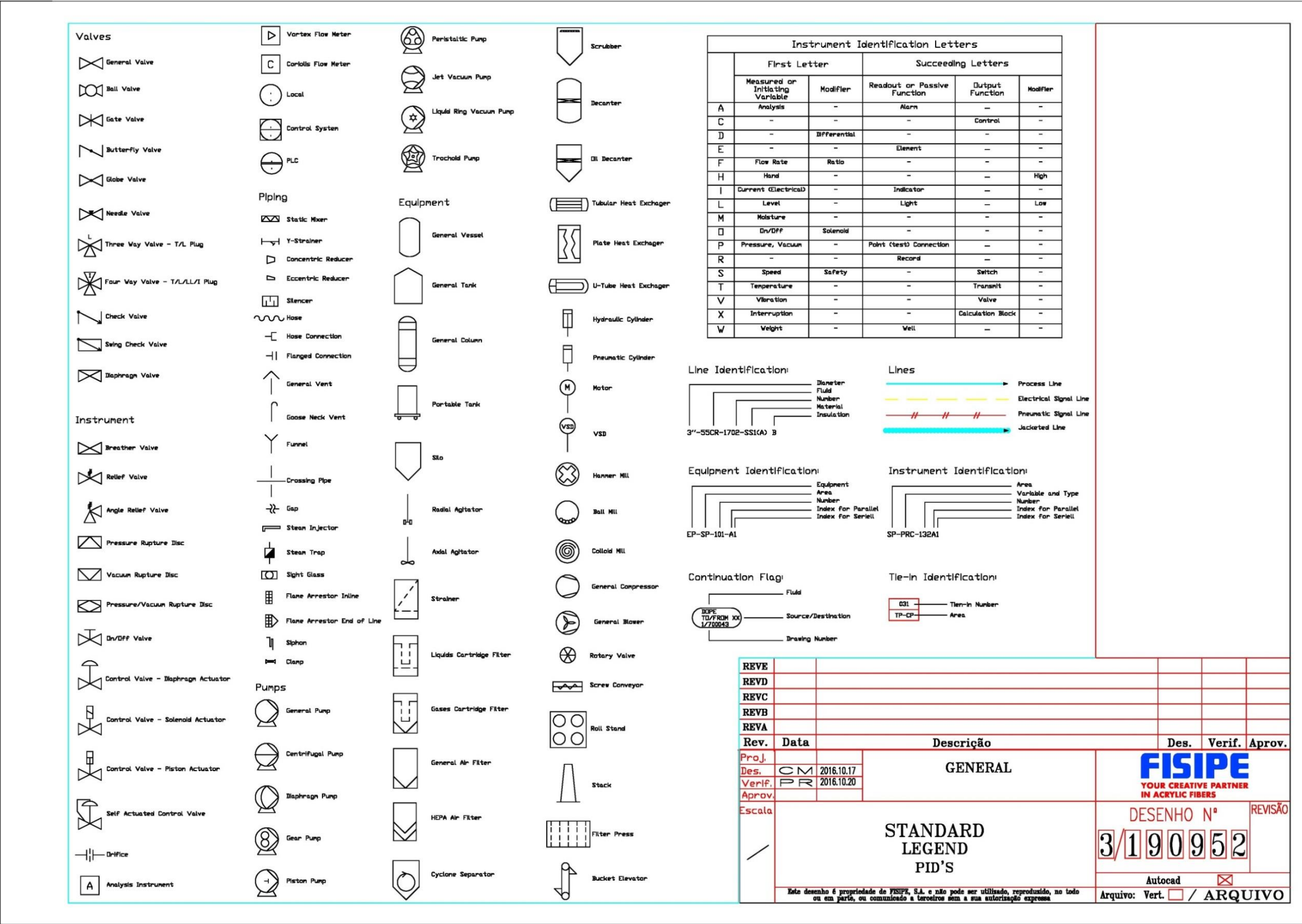
- [16] SGS - Société Générale de Surveillance, "SGS Portugal - ISO 50001 - Certificação - Sistema de Gestão da Energia - Formação," [Online]. Available: <http://www.sgs.pt/pt-PT/Training-Services/Environment/Energy-Management/ISO-50001-Energy-Management-Systems-Certification.aspx>. [Acedido em 20 08 2017].
- [17] Fisipec, S.A., *Gestão de Energia na Fisipec - Aspectos técnicos*, Laval, 2017.
- [18] Diário da República, *Decreto-Lei n.º 71/2008*, N.º 74 ed., vol. 1ª Série, 2008, pp. 2222-2226.
- [19] FISIPEC - Fibras Sintéticas de Portugal, SA, *Manual de Operação - Manual A*, 2017.
- [20] FISIPEC - Fibras Sintéticas de Portugal, SA, *Manual Geral e Descritivo - Manual A - P2*, 2017.
- [21] FLEXIM GmbH, "O Medidor de Vazão Portátil Multifunções - FLUXUS F601," [Online]. Available: <https://www.flexim.com/pt-br/produtos/medidores-de-vazao-portateis-para-liquidos/fluxus-f601>. [Acedido em 30 07 2017].
- [22] PG&E - Pacific Gas and Electric Company, *Application Note: Flexim F601 Ultrasonic Flow Meter*, PG&E - Pacific Gas and Electric Company, 2017.

ANEXOS

ANEXO I. LEGENDA P&ID

No presente anexo está representada na Figura I.1 a legenda *standard* de P&ID da Fisipec.

Figura V.1. Legenda P&ID Fisipec



ANEXO II. DIAGRAMAS DE REDE

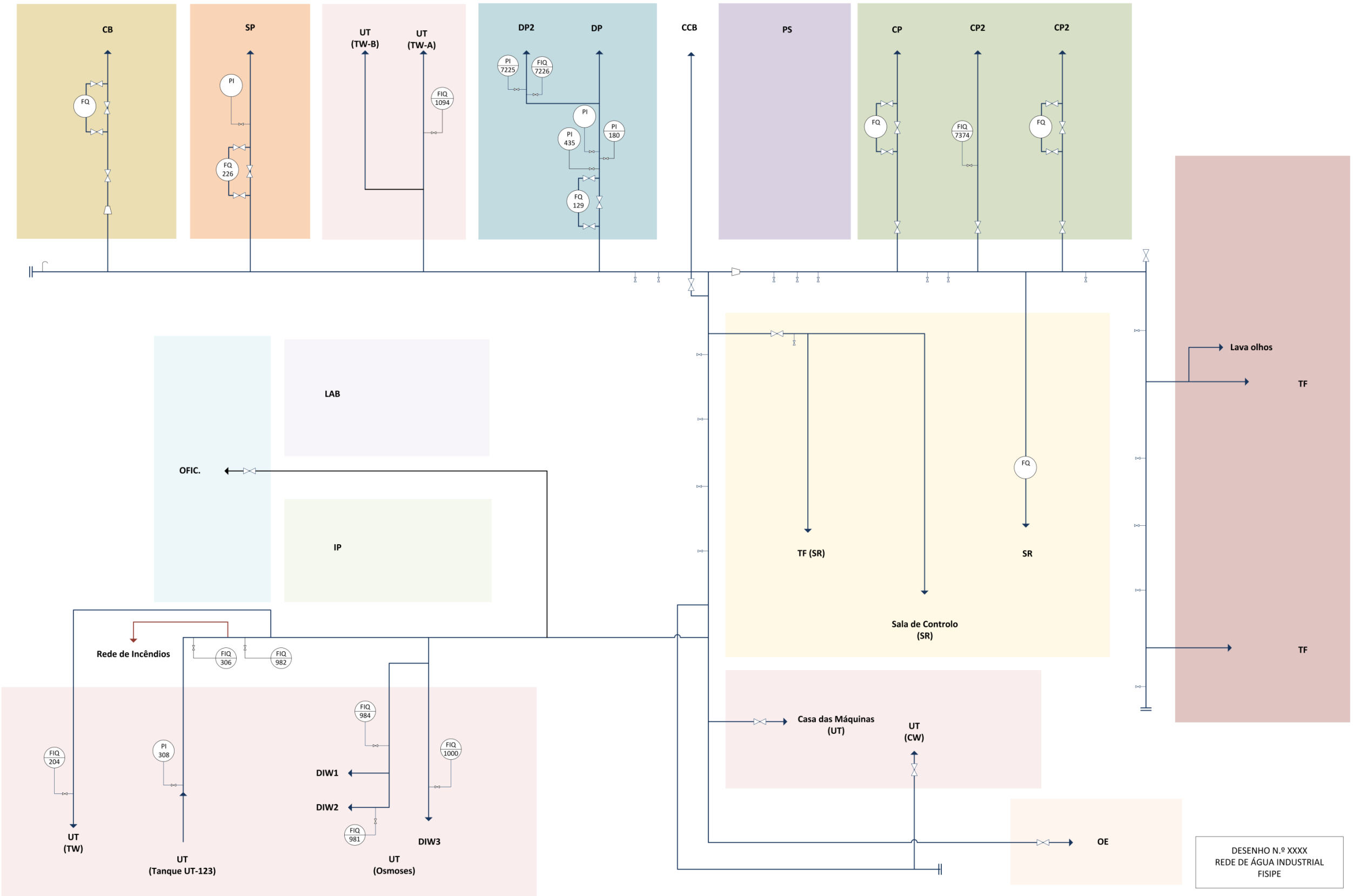
No presente anexo estão apresentados os diagramas de rede das utilidades Água Industrial, Água de Refrigeração, Água Desionizada DIW1, Água Desionizada DIW2, Água Desionizada DIW3, Água Gelada, Vapor, Ar Comprimido e Azoto, respetivamente, Figura II.1 a Figura II.9.

Figura II.1. Água Industrial

FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Rede de Água Industrial

Member of SGL Group – The Carbon Company



DESENHO N.º XXXX
REDE DE ÁGUA INDUSTRIAL
FISIPE

Figura II.2. Água de Refrigeração

FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Member of SGL Group – The Carbon Company

Rede de Água de Refrigeração

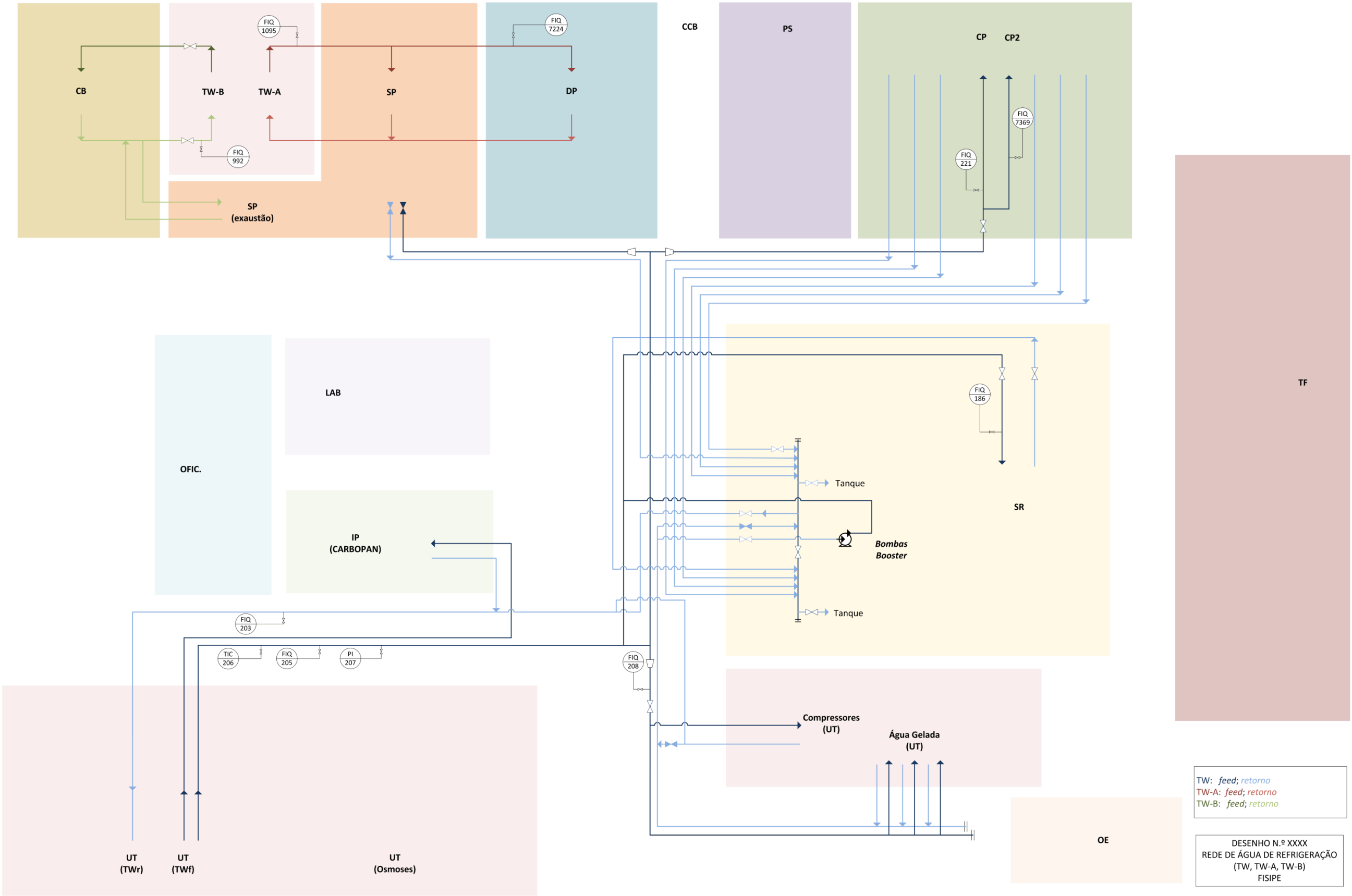


Figura II.3. Água Gelada

FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Member of SGL Group – The Carbon Company

Rede de Água Gelada

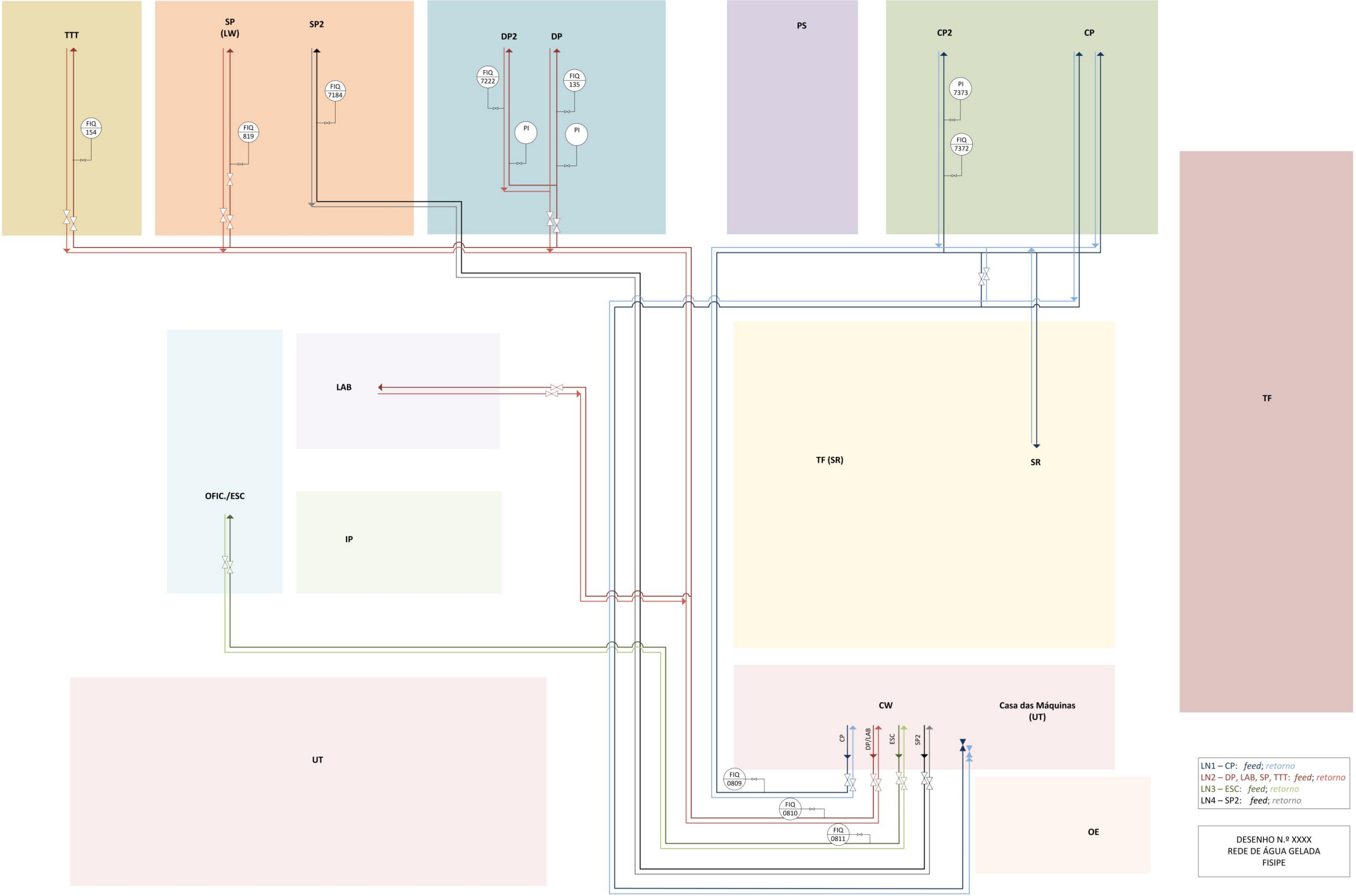


Figura II.4. Água Desionizada DIW1



Member of SGL Group – The Carbon Company

Rede de Água Desionizada DIW1

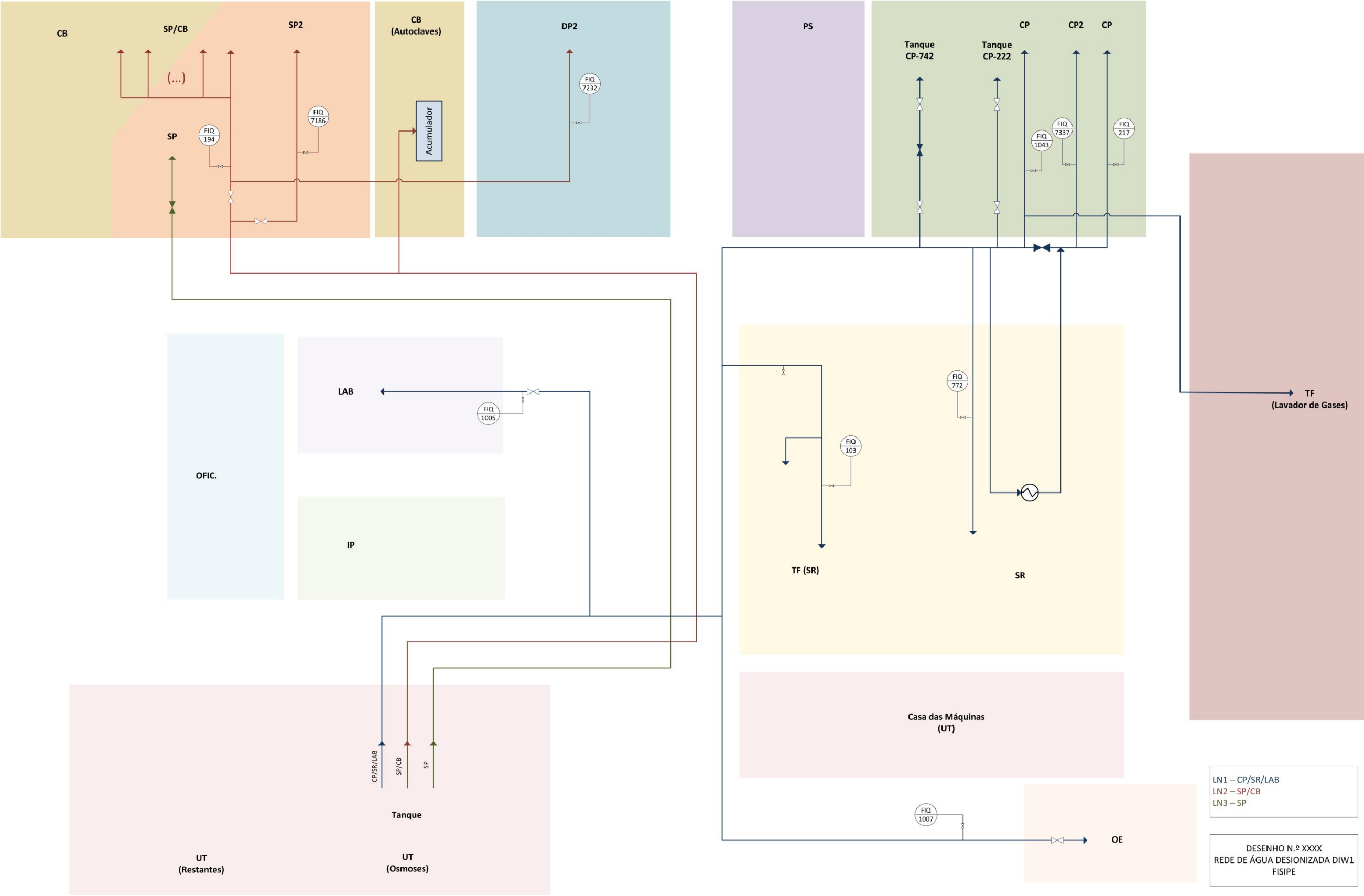


Figura II.5. Água Desionizada DIW2



Rede de Água Desionizada DIW2

Member of SGL Group – The Carbon Company

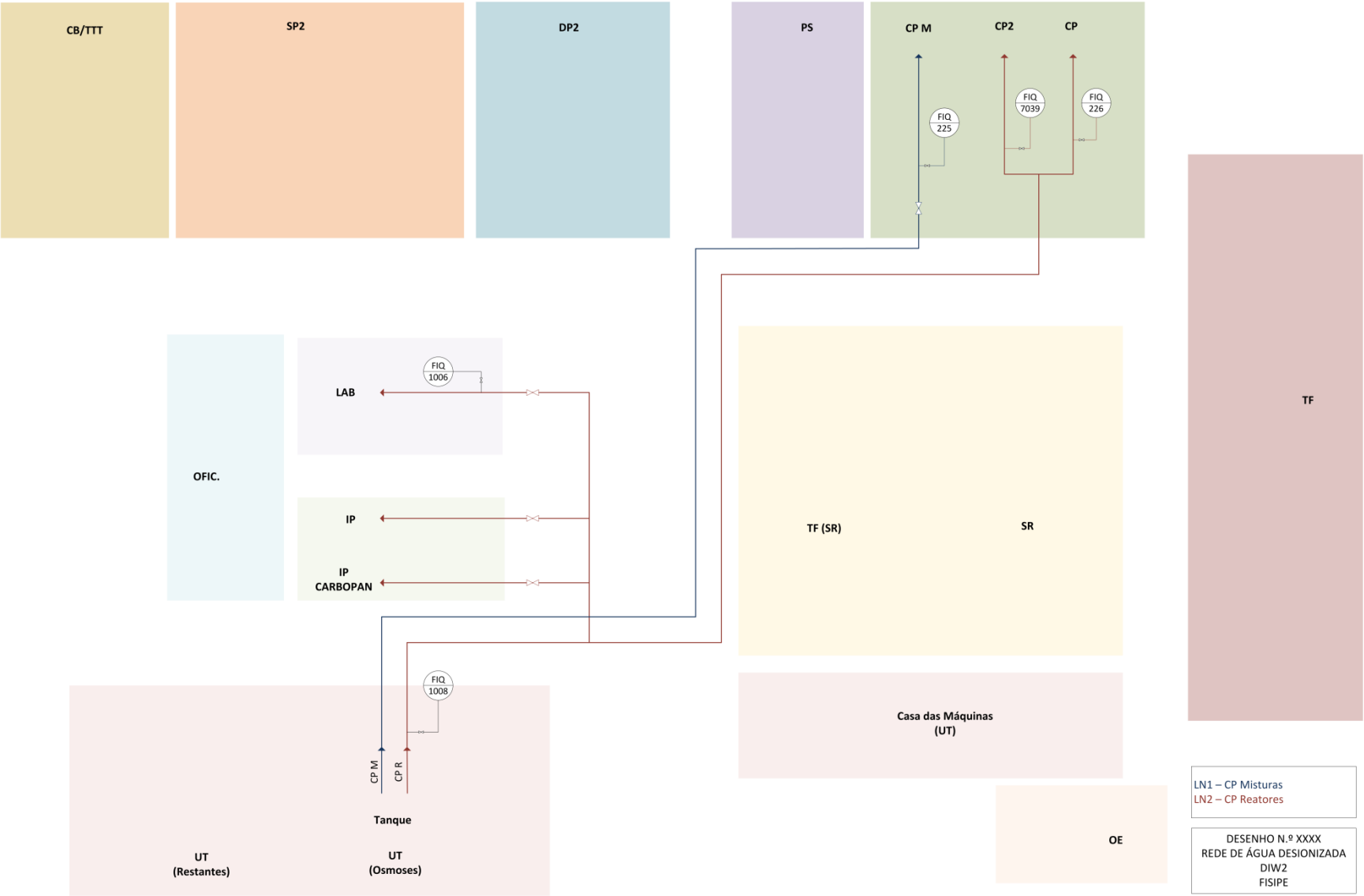


Figura II.6. Água Desionizada DIW3



Member of SGL Group – The Carbon Company

Rede de Água Desionizada DIW3

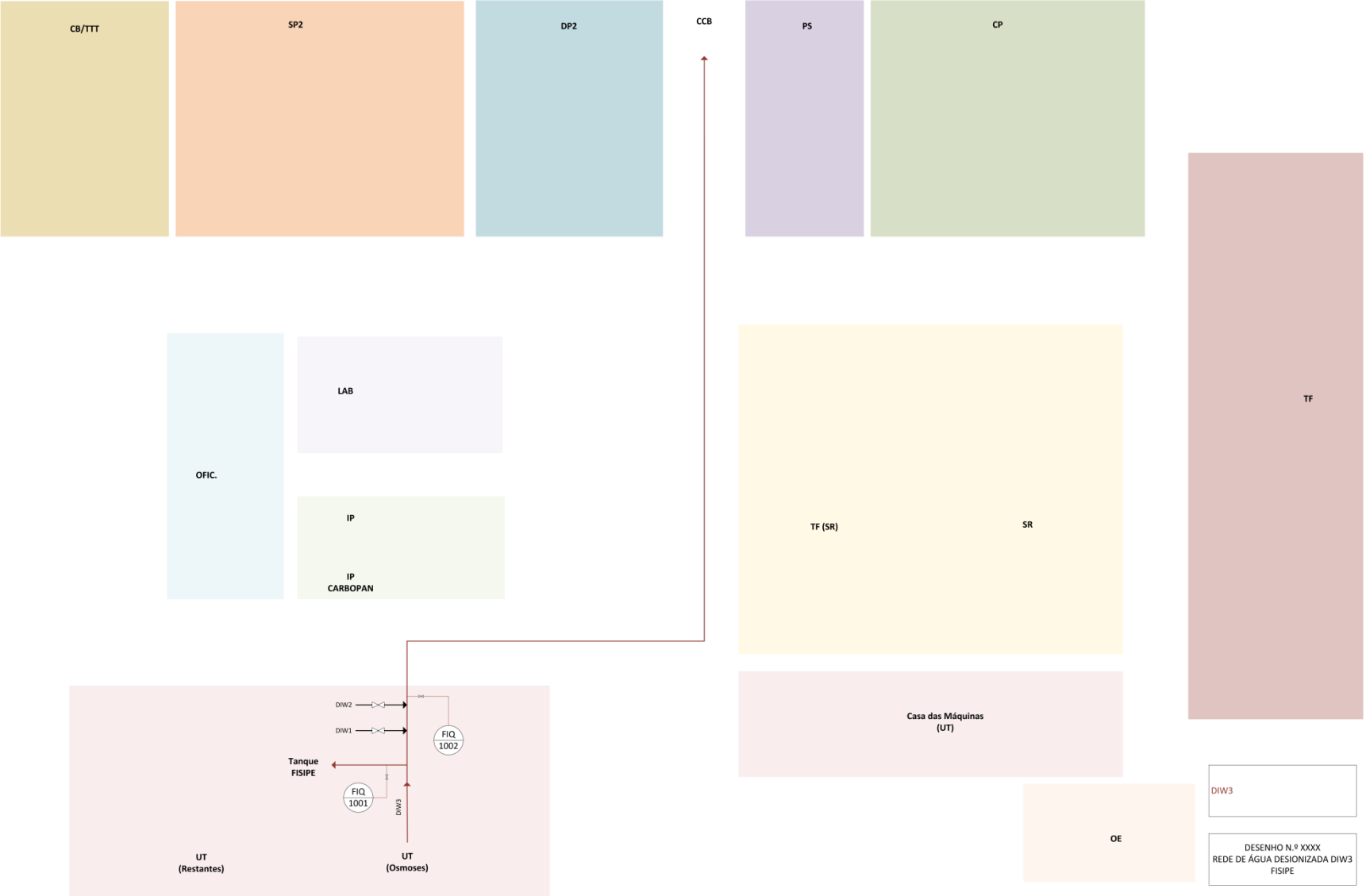


Figura II.7. Vapor
FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Rede de Vapor

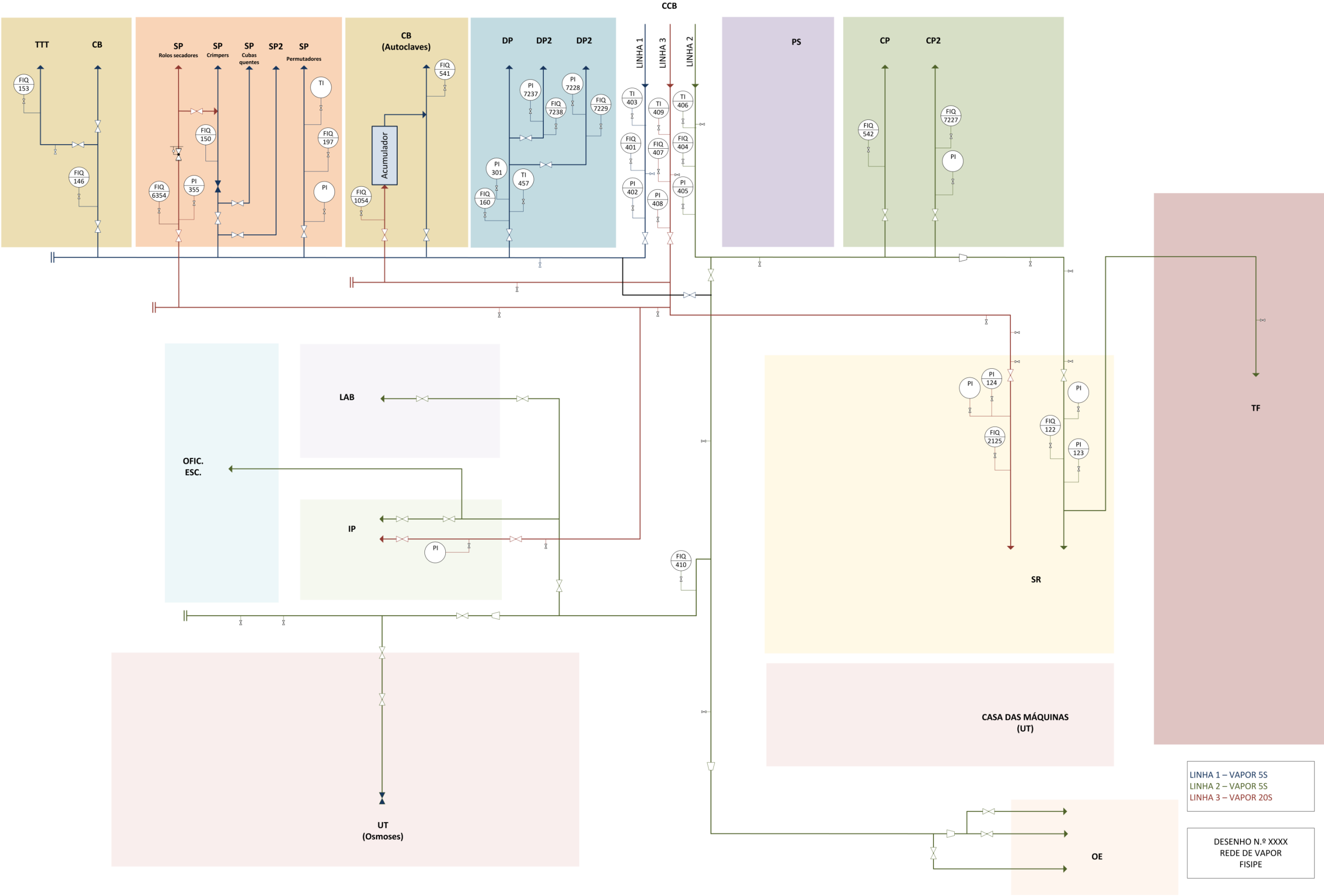


Figura II.8. Ar Comprimido

FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Rede de Ar Comprimido

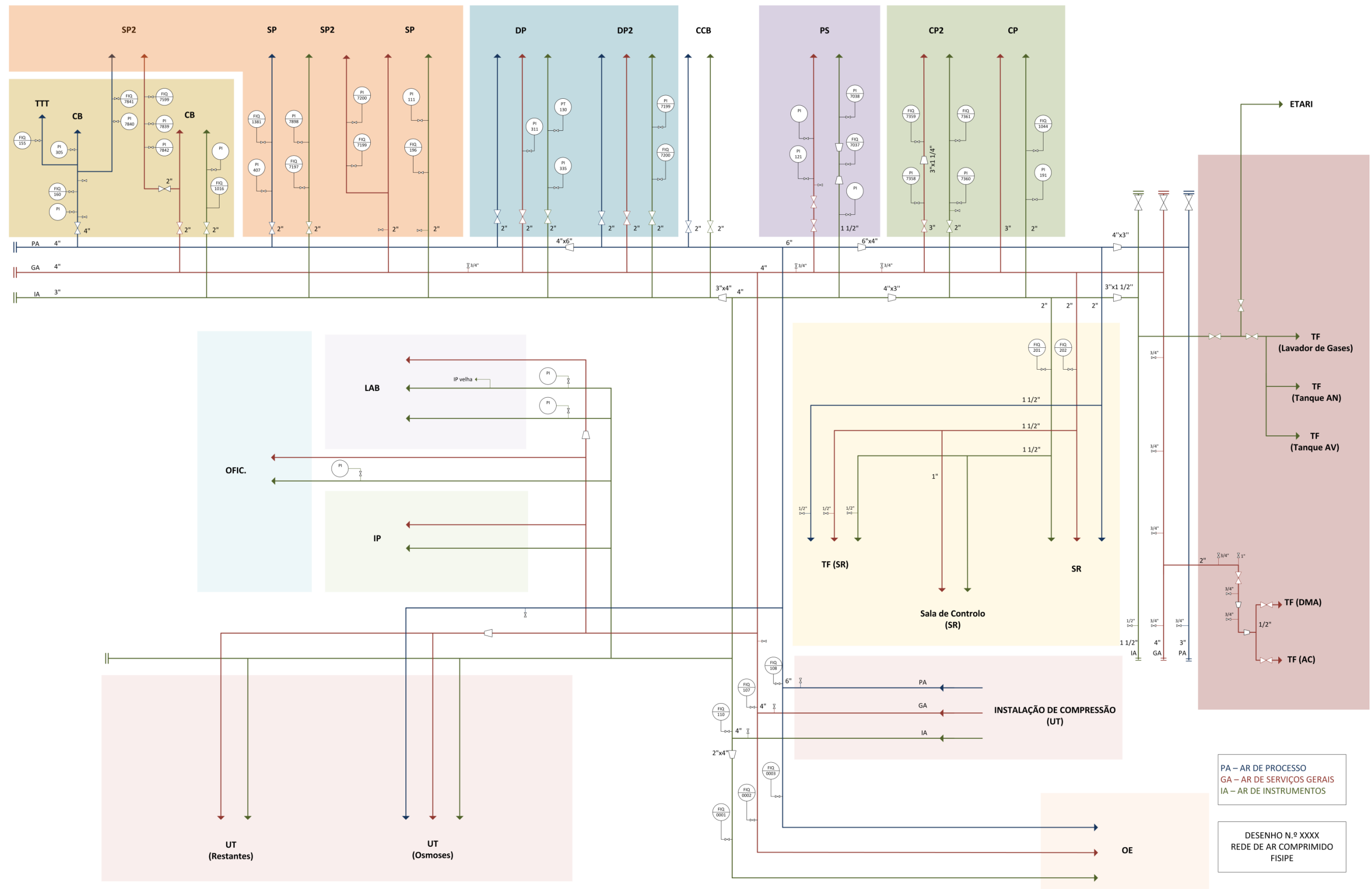
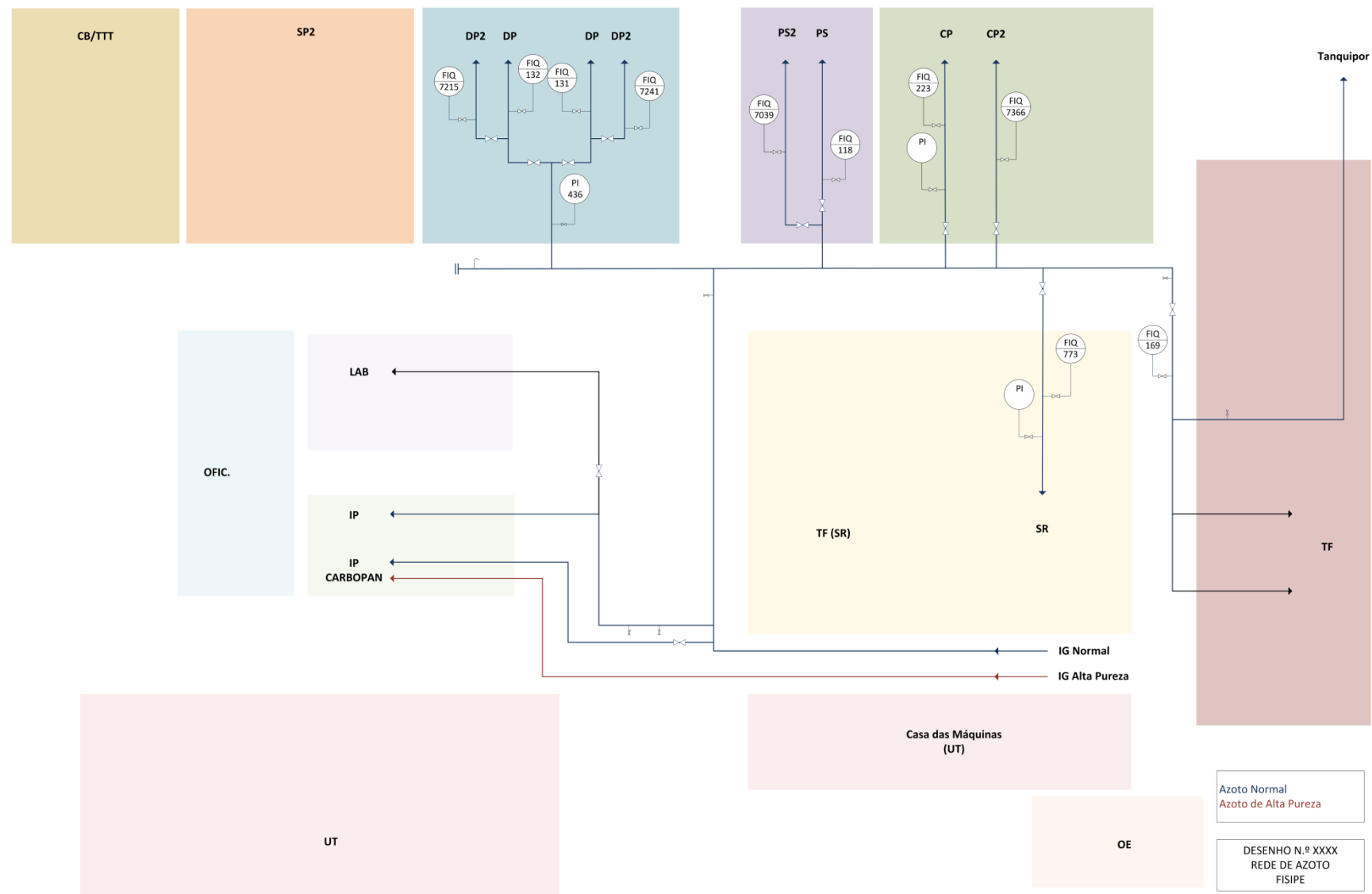


Figura II.9. Azoto

FISIPE
YOUR CREATIVE PARTNER
IN ACRYLIC FIBERS

Rede de Azoto

Member of SGL Group – The Carbon Company



ANEXO III. P&ID

Os diagramas P&I presentes neste anexo foram removidos por motivos de confidencialidade.

ANEXO IV. LISTA DE PONTOS COM CARÊNCIA DE PONTOS DE MEDIÇÃO DE CAUDAL

Na Tabela IV.1 no presente anexo está apresentada a lista de pontos com carência de pontos de medição de caudal.

Tabela IV.1. Lista de pontos com carência de pontos de medição de caudal

Utilidade	Área	Utilidade	Área
DIW1	CB	IA	CB
DIW1	CP	IA	CP
DIW1	OE	IA	CCB
DIW1	SR	IA	DP
DIW1	TF(SR)	IA	IP
DIW1	UT	IA	LAB
DIW1	LAB	IA	OFICINAS
DIW1	TF(SR) Lavagem colunas	IA	TF
DIW1	CB	IA	UT (Osmoses)
DIW1	CP (Tanque ITA)	IA	UT (Restantes)
DIW2	UT	IG	SR
DIW2	LAB	IG	UT (CW)
DIW2	IP	PA	SP
GA	CB	PA	SR
GA	SP	PA	CCB
GA	CP	PA	DP
GA	DP	PA	DP2
GA	DP2	PA	UT (Osmoses)
GA	IP	W	CCB
GA	LAB	W	OE
GA	OFICINAS	W	UT (CW)
GA	PS	W	OFIC.
GA	TF	W	TF
GA	UT (Osmoses)	W	TF(SR)
GA	UT (Restantes)		

ANEXO V. RELATÓRIO EMITIDO PELO BALANÇO TEÓRICO.

Nas Figuras de V.1 a V.3 do presente anexo estão apresentadas as páginas do relatório emitido pelo balanço teórico.

Figura V.1. Relatório emitido pelo balanço teórico, exemplo mês de março. 1 de 3

CONDITIONS	
Big Textile Fiber Reactors	2,0
Small Textile Fiber Reactors	0,9
Precursor Reactors	0,3
Textile Fiber SPM	8,3
50K	0,7
24K	0,0
10S/5S Steam Superheating	100 °C
5S Pressure (7 bar or 5 bar)	7 bar
Room Temperature	15 °C
SR Working (1=Yes; 0=No)	1
Start-up Condition (1=Yes; 0=No)	0
Precursor Gamma	6,2 kg water/(kg fiber)
Textile Fiber Gamma	4,3 kg water/(kg fiber)

RESULTS	
DP CR Flow	18255 kg/h
SP RW Flow	24975 kg/h
13 + 55CR Flow	39183 kg/h
13 + 55CR Concentration	46% w/w
Steam Specific Consumption	9 ton steam /(ton textile fiber + ton precursor)
Textile Fiber production	5615 kg/h
Precursor Production	307 kg/h
Textile Polymer Production	6590 kg/h
Precursor Polymer Production	386 kg/h
NG burning at CCB	61,44 NM3/h
Primary Energy	4,96 Toe/h
Emissions	13.178 kgCO2/h

Water sent to CCB	
Condensate return	35 372 kg/h
DIW3	15 296 kg/h

Figura V.2. Relatório emitido pelo balanço teórico, exemplo mês de março. 2 de 3

UTILITY CONSUMPTION BY AREA										
	CP1	CP2	DP1	DP2	SP1	SP2	CB	SR	UT	TOTAL
20S	-	-	-	-	13,4 ton/h	1,2 ton/h	1,4 ton/h	15,9 ton/h	-	31,89 ton/h
5S	12,4 ton/h	1,8 ton/h	0,4 ton/h	0,1 ton/h	2,8 ton/h	0,2 ton/h	1,1 ton/h	-	-	18,78 ton/h
DIW1	46,0 ton/h	10,2 ton/h	-	-	2,8 ton/h	1,2 ton/h	0,1 ton/h	6,7 ton/h	-	67,03 ton/h
DIW2	14,3 ton/h	1,2 ton/h	-	-	-	-	-	-	-	15,56 ton/h
DIW3	-	-	-	-	-	-	-	-	15,3 ton/h	15,30 ton/h
CW	43,3 ton/h	2,2 ton/h	9,5 ton/h	1,6 ton/h	1,8 ton/h	9,2 ton/h	-	-	-	67,54 ton/h
TW	125,3 ton/h	8,0 ton/h	-	-	-	-	-	615,9 ton/h	208,3 ton/h	957,51 ton/h
TW-A	-	-	-	1,4 ton/h	165,2 ton/h	14,9 ton/h	-	-	-	181,56 ton/h
TW-B	-	-	-	-	-	-	129,6 ton/h	-	-	129,58 ton/h
AIR	335,4 m3/h	0,9 m3/h	145,4 m3/h	-	935,0 m3/h	40,5 m3/h	535,7 m3/h	135,3 m3/h	-	2 128,3 m3/h
EE	538 kWh/h	147 kWh/h	337 kWh/h	40 kWh/h	535 kWh/h	81 kWh/h	420 kWh/h	496 kWh/h	1 180 kWh/h	3 774 kWh/h

UTILITY CONSUMPTION % BY AREA										
	CP1	CP2	DP1	DP2	SP1	SP2	CB	SR	UT	TOTAL
20S	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	42,1%	3,7%	4,3%	49,9%	0,0%	100%
5S	66,0%	9,6%	2,2%	0,3%	14,8%	1,2%	5,9%	0,0%	0,0%	100%
DIW1	68,7%	15,2%	0,0%	0,0%	4,2%	1,7%	0,2%	10,0%	0,0%	100%
DIW2	92,2%	7,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
DIW3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100%
CW	64,1%	3,3%	14,0%	2,3%	2,7%	13,6%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
TW	13,1%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	64,3%	21,8%	100%
TW-A	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	91,0%	8,2%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
TW-B	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100%
AIR	15,8%	0,0%	6,8%	0,0%	43,9%	1,9%	25,2%	6,4%	0,0%	100%
EE	14,3%	3,9%	8,9%	1,1%	14,2%	2,1%	11,1%	13,1%	31,3%	100%

Specific Consumption										
	CP1	CP2	DP1	DP2	SP1	SP2	CB	SR	UT	TOTAL
	/ Ton Pol	/ Ton Pol	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra	/ Ton Fibra
20S	-	-	-	-	2,39 ton	3,84 ton	0,24 ton	2,84 ton	-	5,39 ton
5S	1,88 ton	4,66 ton	0,07 ton	0,15 ton	0,50 ton	0,74 ton	0,20 ton	-	-	3,17 ton
DIW1	6,99 ton	26,39 ton	-	-	0,50 ton	3,78 ton	0,02 ton	1,20 ton	-	11,32 ton
DIW2	2,18 ton	3,15 ton	-	-	-	-	-	-	-	2,63 ton
DIW3	-	-	-	-	-	-	-	-	2,72 ton	2,58 ton
CW	6,57 ton	5,82 ton	1,68 ton	4,04 ton	0,32 ton	29,95 ton	-	-	-	11,40 ton
TW	19,02 ton	20,66 ton	-	-	-	-	-	109,67 ton	37,10 ton	161,68 ton
TW-A	-	-	-	3,58 ton	29,43 ton	48,70 ton	-	-	-	30,66 ton
TW-B	-	-	-	-	-	-	23,08 ton	-	-	21,88 ton
AIR	50,90 m3	2,40 m3	25,90 m3	-	166,50 m3	132,00 m3	95,40 m3	24,10 m3	-	359,37 m3
EE	81,63 kWh	380,78 kWh	60,05 kWh	104,50 kWh	95,20 kWh	262,57 kWh	74,86 kWh	88,28 kWh	210,18 kWh	637,26 kWh

Figura V.3. Relatório emitido pelo balanço teórico, exemplo mês de março. 3 de 3

UTILITY PRODUCTION COST BY AREA										
	CP1	CP2	DP1	DP2	SP1	SP2	CB	SR	UT	TOTAL
20S	-	-	-	-	242,0 €/h	21,3 €/h	24,6 €/h	287,1 €/h	-	574,9 €/h
5S	223,9 €/h	32,5 €/h	7,4 €/h	1,0 €/h	50,3 €/h	4,1 €/h	20,0 €/h	-	-	339,3 €/h
DIW1	32,8 €/h	7,3 €/h	-	-	2,0 €/h	0,8 €/h	0,1 €/h	4,8 €/h	-	47,8 €/h
DIW2	9,6 €/h	0,8 €/h	-	-	-	-	-	-	-	10,4 €/h
DIW3	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7 €/h	11,7 €/h
CW	12,0 €/h	0,6 €/h	2,6 €/h	0,4 €/h	0,5 €/h	2,5 €/h	-	-	-	18,7 €/h
TW	4,9 €/h	0,3 €/h	-	-	-	-	-	16,2 €/h	8,1 €/h	29,5 €/h
TW-A	-	-	-	0,1 €/h	6,4 €/h	0,6 €/h	-	-	-	7,1 €/h
TW-B	-	-	-	-	-	-	5,0 €/h	-	-	5,0 €/h
AIR	3,1 €/h	0,0 €/h	1,3 €/h	-	8,6 €/h	0,4 €/h	4,9 €/h	1,2 €/h	-	19,6 €/h
EE	40,3 €/h	11,0 €/h	25,3 €/h	3,0 €/h	40,1 €/h	6,0 €/h	31,5 €/h	37,2 €/h	88,5 €/h	283,1 €/h
TOTAL	326,6 €/h	52,6 €/h	36,7 €/h	4,6 €/h	349,9 €/h	35,7 €/h	86,2 €/h	346,5 €/h	108,3 €/h	1 347,0 €/h

COST % BY UTILITY WITHIN AN AREA										
	CP1	CP2	DP1	DP2	SP1	SP2	CB	SR	UT	Total
20S	-	-	-	-	69,2%	59,5%	28,6%	82,8%	-	42,7%
5S	68,6%	61,9%	20,3%	22,9%	14,4%	11,4%	23,2%	-	-	25,2%
DIW1	10,0%	13,8%	-	-	0,6%	2,3%	0,1%	1,4%	-	3,5%
DIW2	2,9%	1,5%	-	-	-	-	-	-	-	0,8%
DIW3	-	-	-	-	-	-	-	-	10,8%	0,9%
CW	3,7%	1,2%	7,1%	9,5%	0,1%	7,1%	-	-	-	1,4%
TW	1,5%	0,6%	-	-	-	-	-	4,7%	7,5%	2,2%
TW-A	-	-	-	1,2%	1,8%	1,6%	-	-	-	0,5%
TW-B	-	-	-	-	-	-	5,8%	-	-	0,4%
AIR	0,9%	0,0%	3,6%	-	2,5%	1,0%	5,7%	0,4%	-	1,5%
EE	12,4%	21,0%	68,9%	66,4%	11,5%	16,9%	36,6%	10,7%	81,7%	21,0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%